



TUGAS AKHIR – ME 141501

**PENGARUH VARIASI *PITCH* TERHADAP
KINERJA *DUCTED CONTRA ROTATING*
PROPELLER DENGAN PENDEKATAN CFD**

**RIZQI MAULANA KHOZIN
NRP 4212 100 021**

**Dosen Pembimbing:
Irfan Syarif Arief, ST. MT.
Ir. Tony Bambang M., PGD**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT – ME 141501

**VARIATION PITCH EFFECT TO THE
PERFORMANCE OF *DUCTED CONTRA
ROTATING PROPELLER* USING CFD
METHOD**

**RIZQI MAULANA KHOZIN
NRP 4212 100 021**

**Supervisor:
Irfan Syarif Arief, ST. MT.
Ir. Tony Bambang M., PGD**

**DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF OCEAN TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI *PITCH* TERHADAP KINERJA *DUCTED CONTRA ROTATING* *PROPELLER* DENGAN PENDEKATAN CFD

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada
Bidang Studi *Marine Manufacture and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RIZQI MAULANA KHOZIN
NRP 4212 100 021

Disetujui oleh Pembimbing SKRIPSI :

Irfan Syarif Arief, ST. MT.
NIP. 1969 1225 1997 02 1001

()

Ir. Toni Bambang M., PGD
NIP. 1959 0410 1987 01 1001

()

SURABAYA
Juli 2016

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI *PITCH* TERHADAP KINERJA *DUCTED CONTRA ROTATING* *PROPELLER* DENGAN PENDEKATAN CFD

TUGAS AKHIR

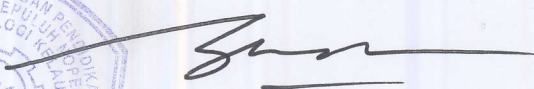
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada
Bidang Studi *Marine Manufacture and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RIZQI MAULANA KHOZIN
NRP 4212 100 021

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :




Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

PENGARUH VARIASI *PITCH* TERHADAP KINERJA *DUCTED CONTRA ROTATING PROPELLER* DENGAN PENDEKATAN CFD

Nama : Rizqi Maulana Khozin
NRP : 4212 100 021
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarif Arief, ST. MT.
2. Ir. Tony Bambang M., PGD

Abstrak

Salah satu tipe baling-baling yang dapat meningkatkan gaya dorong adalah jenis *ducted propeller* dan *contra rotating propeller*. Jenis *contra rotating propeller* memiliki keuntungan hidrodinamis terhadap permasalahan penyelamatan energi *rotasional slip stream* yang mungkin akan hilang bilamana kita menggunakan sistem *single screw propeller* yang konvensional. Sedangkan jenis *ducted propeller* memiliki keuntungan mampu menambah torsi jika dibandingkan tanpa menggunakan *kort nozzle*. Kedua jenis tersebut dilakukan combine menjadi *ducted contra rotating propeller*. *Propeller* jenis tersebut dilakukan variasi *pitch* pada *propeller* bagian belakang dari *ducted contra rotating propeller*. Metode yang dilakukan untuk analisa *propeller* ini menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Berdasarkan grafik K-T-J type *ducted contra rotating propeller* bahwa nilai efisiensi tertinggi dengan variasi *pitch* terdapat pada putaran rendah yaitu 96 – 108 rpm.

Kata kunci : contra rotating, ducted, pitch , thrust, torque dan CFD

VARIATION PITCH EFFECT TO THE PERFORMANCE OF *DUCTED CONTRA ROTATING PROPELLER* USING CFD METHOD

Name : Rizqi Maulana Khozin
NRP : 4212 100 021
Departement : Marine Engineering
Supervisor : 1. Irfan Syarif Arief, ST. MT.
2. Ir. Tony Bambang M., PGD

Abstrack

One of the *propeller* type that can increase *thrust* is *ducted propeller* and than *contra rotating propeller*. Type *contra rotating propellers* have hydrodynamic advantages to the problems of energy saving of rotational slip stream may be lost if using a system of conventional single screw *propeller*. While these types of *ducted propeller* has the advantage able to increase the *torque* when compared without using *kort nozzle*. Both types are made combine into a *contra rotating ducted*. *Propeller pitch* variation types are carried on the *back* of a *ducted contra rotating propeller*. The method used for this analysis using CFD (Computational Fluid Dynamics). According graph K-T-J type of ducted contra rotating propeller that value of the highest efficiency with pitch variation are at low rpm is 96-108 rpm.

***Keyword : contra rotating, ducted, pitch , thrust, torque
dan CFD***

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
Abstrak	ix
Abstrack	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Telaah Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 <i>Propeller</i>	6
2.2.2 <i>Ducted Propeller</i>	6
2.2.3 <i>Contra rotating Propeller</i>	8
2.2.4 <i>Pitch</i>	8

2.2.5	Karakteristik <i>Propeller</i> pada <i>Open Water Test</i> ...	10
2.2.6	Gaya Gesek (<i>Force Drag</i>) & Gaya Angkat (<i>force lift</i>)	11
2.2.7	Teori <i>Blade</i> Element Momentum	12
2.2.8	<i>Thrust</i> dan <i>Torque</i>	12
2.2.9	Computational Fluid Dynamic (CFD).....	13
BAB III METODOLOGI		15
3.1	Identifikasi Permasalahan & Perumusan Masalah	16
3.2	Studi Literatur	16
3.3	Pembuatan Model.....	16
3.3.1	Penamaan Model	16
3.3.2	<i>Kort nozzle</i>	17
3.3.3	<i>Ka Propeller</i>	18
3.4	Simulasi (running) CFD & Pencatatan Data	23
3.5	Validasi	25
3.6	Analisa Data <i>Propeller</i>	25
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Umum.....	27
4.2	Design <i>Kort nozzle</i>	27
4.3	Design <i>Ka – Propeller</i>	28
4.4	Analisa Data dari CFD	29
4.4.1	Data Hasil Simulasi	29
4.4.2	Perhitungan.....	30

4.4.3	Hasil Perhitungan	32
4.5	Pembahasan	41
4.5.1	Perbandingan <i>contra rotating propeller</i> dengan penambahan <i>kort nozzle</i> berdasarkan putaran <i>propeller</i>	41
4.5.2	Perbandingan <i>contra rotating propeller</i> dengan penambahan <i>kort nozzle</i> berdasarkan variasi <i>pitch</i>	42
4.5.3	Hubungan <i>Torque</i> dan <i>Thrust</i> pada Variasi <i>Pitch</i>	45
4.5.4	Grafik K-T-J	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN		59

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.3.2.1 Koordinat <i>kort nozzle</i> Type 19 A	18
Tabel 3.3.3.2 <i>Domain</i> Physics for LR4P05P09 J 05	20
Tabel 3.3.3.3 Boundary Physics for LR4P05P09 J 05	21
Tabel 4.2.4 Koordinat <i>Nozzle</i> Type 19 A.....	27
Tabel 4.3.5 Spesifikasi Ka <i>Propeller</i> dengan <i>Pitch</i> 2,14 meter. 28	
Tabel 4.3.6 Nama dan Variasi <i>Pitch</i> Model	29
Tabel 4.4.1.7 Hasil Running pada LR3P05P05.....	29
Tabel 4.4.3.8 Baling - Baling Depan DCRP pada J 0,4	33
Tabel 4.4.3.9 Baling - Baling Belakang DCRP pada J 0,4.....	33
Tabel 4.4.3.10 Hasil Resultan DCRP pada J 0,4.....	33
Tabel 4.4.3. 11 Baling - Baling Depan CRP pada J 0,4	34
Tabel 4.4.3.12 Baling - Baling Belakang CRP pada J 0,4	34
Tabel 4.4.3.13 Hasil Resultan CRP pada J 0,4.....	34
Tabel 4.4.3.14 Model LR3P05P05 <i>Propeller</i> Depan	35
Tabel 4.4.3.15 Model LR3P05P05 <i>Propeller</i> Belakang	35
Tabel 4.4.3.16 Model LR3P05P07 <i>Propeller</i> Depan	36
Tabel 4.4.3.17 Model LR3P05P07 <i>Propeller</i> Belakang	36
Tabel 4.4.3.18 Model LR3P05P09 <i>Propeller</i> Depan	36
Tabel 4.4.3.19 Model LR3P05P09 <i>Propeller</i> Belakang	37
Tabel 4.4.3.20 Model LR3P05P12 <i>Propeller</i> Depan	37
Tabel 4.4.3.21 Model LR3P05P12 <i>Propeller</i> Belakang	37
Tabel 4.4.3.22 Model LR4P05P05 <i>Propeller</i> Depan	38
Tabel 4.4.3.23 Model LR4P05P05 <i>Propeller</i> Belakang	38
Tabel 4.4.3.24 Model LR4P05P07 <i>Propeller</i> Depan	39
Tabel 4.4.3.25 Model LR4P05P07 <i>Propeller</i> Belakang	39
Tabel 4.4.3.26 Model LR4P05P09 <i>Propeller</i> Depan	39
Tabel 4.4.3.27 Model LR4P05P09 <i>Propeller</i> Belakang	40

Tabel 4.4.3.28 Model LR4P05P12 <i>Propeller</i> Depan	40
Tabel 4.4.3.29 Model LR4P05P12 <i>Propeller</i> Belakang	40
Tabel 4.5.4.30 K-T-J LR3P05P05.....	47
Tabel 4.5.4.31 K-T-J LR3P05P07.....	48
Tabel 4.5.4.32 K-T-J LR3P05P09.....	49
Tabel 4.5.4.33 K-T-J LR3P05P12.....	50
Tabel 4.5.4.34 K-T-J LR4P05P05.....	51
Tabel 4.5.4.35 K-T-J LR4P05P07.....	52
Tabel 4.5.4.36 K-T-J LR4P05P09.....	53
Tabel 4.5.4.37 K-T-J LR4P05P12.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2.2.1 Jenis Foil Kort <i>nozzle</i> NACA 4415	7
Gambar 2.2.2.2 Ka <i>propeller</i> menggunakan kort <i>nozzle</i>	7
Gambar 2.2.3.3 <i>Contra rotating Propeller</i>	8
Gambar 2.2.4.4 View <i>Blade</i> Section from Silinder.....	9
Gambar 2.2.4.5 View <i>Blade</i> Section at Helix	9
Gambar 2.2.7.6 Gaya yang bekerja pada <i>blade</i>	12
Gambar 3.3.2.7 Profil Kort <i>nozzle</i> Type 19 A.....	17
Gambar 3.3.3.8 Model <i>Contra rotating Propeller</i>	19
Gambar 3.3.3.9 Meshing <i>Ducted Contra rotating Propeller</i>	19
Gambar 3.4.10 Kontur pada Model.....	24
Gambar 3.4.11 Aliran pada Model.....	24
Gambar 4.5.1.13 Perbandingan <i>thrust</i> dan <i>torque</i> terhadap Putaran <i>propeller</i>	41
Gambar 4.5.1.14 Grafik K-T-J DCRP dan CRP pada model LR4P05P07	42
Gambar 4.5.2.15 Grafik Hubungan Efisiensi dengan <i>Pitch</i> pada <i>blade</i> 3 dan 4	42
Gambar 4.5.2.16 Grafik Hubungan <i>Thrust</i> dengan <i>Pitch</i> pada <i>blade</i> 3 dan 4	43
Gambar 4.5.2.17 Grafik Hubungan <i>Torque</i> dengan <i>Pitch</i> pada <i>blade</i> 3 dan 4	44
Gambar 4.5.3.18 Grafik Hubungan <i>Torque</i> dengan Putaran pada <i>Blade</i> 3	45
Gambar 4.5.3.19 Grafik Hubungan <i>Torque</i> dengan Putaran pada <i>Blade</i> 4	45
Gambar 4.5.3.20 Grafik Hubungan <i>Thrust</i> dengan Putaran pada <i>Blade</i> 3	46
Gambar 4.5.3.21 Grafik Hubungan <i>Thrust</i> dengan Putaran pada <i>Blade</i> 4	46

Gambar 4.5.4.22 Grafik K-T-J LR3P05P05.....	47
Gambar 4.5.4.23 Grafik K-T-J LR3P05P07.....	48
Gambar 4.5.4.24 Grafik K-T-J LR3P05P09.....	49
Gambar 4.5.4.25 Grafik K-T-J LR3P05P12.....	50
Gambar 4.5.4.26 Grafik K-T-J LR4P05P05.....	51
Gambar 2.5.4.27 Grafik K-T-J LR4P05P07.....	52
Gambar 4.5.4.28 Grafik K-T-J LR4P05P09.....	53
Gambar 4.5.4.29 Grafik K-T-J LR4P05P12.....	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banyaknya jenis kapal yang memiliki kriteria khusus pada sistem propulsi membutuhkan pembuatan design *propeller* sesuai kebutuhan kapal. Misalnya kapal tunda membutuhkan torsi yang lebih tinggi dan *thrust* yang tidak terlalu besar agar kapal bekerja sesuai fungsinya. Contoh lainnya adalah kapal patroli yang memiliki konstruksi ringan membutuhkan *thrust* yang tinggi dan tidak membutuhkan torsi yang lebih tinggi agar fungsi dan kebutuhan kapal terpenuhi. Selain diperlukan design khusus untuk memenuhi fungsi dan kebutuhan kapal juga dibutuhkan baling-baling yang dapat meningkatkan gaya dorong kapal.

Salah satu tipe baling-baling yang dapat meningkatkan gaya dorong adalah jenis *contra rotating propeller*. Jenis *contra rotating propeller* memiliki keunikan tersendiri yaitu terdapatnya dua buah *propeller* dimana kedudukannya sama dipasang pada satu sumbu dan berputar saling berlawanan arah. Baling-baling ini memiliki keuntungan hidrodinamis terhadap permasalahan penyelamatan energi *rotasional slip stream* yang mungkin akan hilang bilamana kita menggunakan sistem *single screw propeller* yang konvensional.

Jenis yang lain yaitu *ducted propeller* dengan keunikan terdapat selongsong yang menyelimuti *propeller*. Pada umumnya digunakan pada kapal tunda atau kapal pukat dengan kelebihan *propeller* ini mengurangi *kavitasi* pada ujung *blade*. *Propeller* jenis ini menggunakan jenis baling – baling Ka *propeller* atau kaplan.

Kedua jenis ini akan dilakukan *combine* dimana jenis *propeller* ini disebut *ducted contra rotating propeller*. Jenis *combine propeller* ini pada tugas akhir sebelumnya telah dilakukan penelitian dengan mencari jarak optimum yang mampu bekerja secara efisien dari *propeller* depan dengan lainnya.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlunya menganalisa pengaruh variasi *pitch* pada *propeller* jenis *ducted contra rotating* dengan menggunakan metode CFD (*Computational Fluida Dynamics*). Analisa aliran ini selain ditinjau dari segi posisi kemiringan *blade* atau *pitch* dan jumlah daun baling-baling.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian di atas maka permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan hasil torsi dan *thrust* yang dihasilkan oleh *contra rotating* dengan penambahan *kort nozzle*.
2. Bagaimana hasil efisiensi, torsi dan *thrust* yang dihasilkan pada *ducted contra rotating* dengan bervariasi *pitch propeller*.
3. Bagaimana perbandingan hasil variasi *pitch propeller* dengan jumlah daun baling-baling 3 dan 4

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih menfokuskan permasalahan tugas akhir ini diperlukan batasan-batasan masalah. Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. *Pitch* yang divariasikan adalah baling - baling belakang
2. Analisa hanya difokuskan pada variasi *pitch ratio* (P/D) 0,5, 0,7, 0,9, dan 1,2
3. *Propeller* yang digunakan jenis Ka-series dengan diameter 3 meter
4. Jenis *kort nozzle* yang digunakan adalah
5. *Propeller* yang digunakan adalah 3 dan 4 daun dengan A_e/A_o 0,55
6. Pengujian *propeller* bersifat *Open Water Test* dengan menggunakan software CFD

7. Tidak menganalisa material yang digunakan
8. Tidak menganalisa segi ekonomis

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil efisiensi, torsi dan *thrust* yang dihasilkan pada *contra rotating propeller* dengan penambahan *kort nozzle*.
2. Mengetahui perbandingan hasil variasi *pitch propeller* dalam bentuk grafik KQ, KT, J

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir nanti adalah:

1. Mengetahui kinerja *ducted contra rotating* dengan jumlah *blade* tertentu.
2. Sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan design *propeller*.
3. Sebagai referensi design *propeller* dan sistem perporosan.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Telaah Pustaka

Pada tugas akhir Widiyatno (2012) disebutkan penggunaan *ducted propeller* dapat memberikan pengaruh terhadap gaya dorong yang dihasilkan pada sebuah kapal. Dengan adanya tabung yang penampangnya berbentuk foil yang mengelilingi *propeller* tersebut, dapat meningkatkan efisiensi *propeller* dan menghasilkan gaya dorong yang lebih besar dibandingkan dengan *propeller* biasa yang tidak menggunakan tabung. Tugas akhir ini menggunakan software *Ansys-CFX* dengan konsep *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) dan didapatkan kenaikan gaya dorong sebesar 17% pada *ducted propeller* bila dibandingkan dengan *propeller* yang tidak menggunakan *ducted*.

Chryssostomos Chryssostomidis (2010) dalam tesisnya mengatakan jenis *Contra rotating Propeller (CRP)* adalah propulsor konfigurasi menawarkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan konvensional baling-baling tunggal dapat memulihkan energi rotasi dalam slipstream baling-baling. Jenis baling-baling ini diterapkan untuk kapal-kapal modern yang bagus untuk jenis propulsi listrik dan meningkatkan nilai ekonomis terhadap bahan bakar. Semua metode di atas telah dilaksanakan secara numerik dan diintegrasikan ke dalam komputer program dikembangkan di *MATLAB*.

Abdul Muhyi (2010) meneliti jenis *propeller ducted contra rotating* dengan variasi jarak antar *propeller* terhadap diameter *propeller*. Pada tugas akhir ini menggunakan metode *CFD* dimana hasil pada tugas akhirnya didapatkan nilai efisiensi, lift dan *thrust* tertinggi pada kondisi 5% - 100 mm.

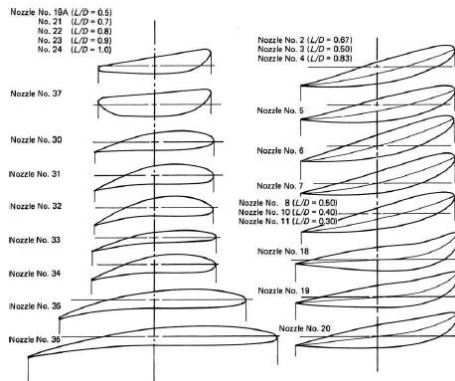
2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Propeller*

Propeller merupakan propulsor yang sering digunakan pada kapal – kapal niaga. Bagian utama pada *propeller* adalah Hub dan *blade* . Kedua bagian ini merupakan kesatuan yang apabila digabungkan menjadi sebuah *propeller*. *Blade* atau baling – baling memiliki dua bagian yaitu *face* dan *back*. *Back* adalah permukaan baling – baling yang terlihat dari sisi poros, sedangkan sisi sebaliknya disebut *face*. Bagian tepi dari daun *propeller* yang depan disebut sebagai leading edge, sedangkan sisi yang lain disebut trailing edge[5].

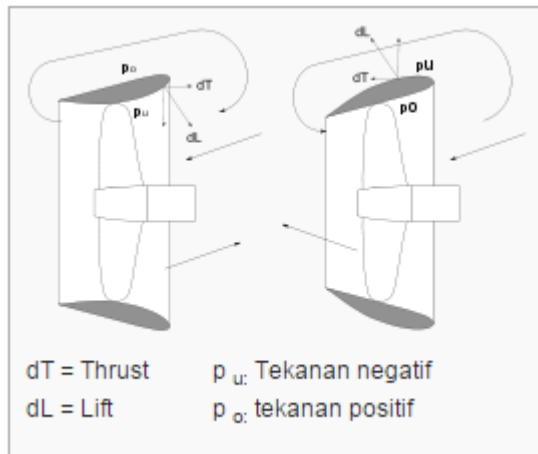
2.2.2 *Ducted Propeller*

Ducted propeller merupakan jenis baling- baling yang dilengkapi oleh *nozzle*, *nozzle* yang terpasang pada *ducted propeller* tidak mengalami rotating. Pada umumnya didunia perkapalan, *propeller* jenis ini sering digunakan pada kapal tunda atau kapal – kapal yang memiliki torsi yang tinggi. *Nozzle* yang terbentuk pada *ducted propeller* berasal dari airfoil. Airfoil yang telah dilakukan peneliti dibidang perkapalan adalah jenis NACA 4415 yang dilakukan oleh MARIN. Berdasarkan penelitian tersebut pemilihan foil untuk *ducted propeller* dikategorikan berbagai jenis dengan mempertimbangkan berdasarkan type *propeller* dan luas area *propeller*. Penggunaan *foil* yang digunakan pada *kort nozzle* adalah seri 19A atau 37 karena pada *kort nozzle* tersebut memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi[3].



Gambar 2.2.2.1 Jenis Foil Kort nozzle NACA 4415

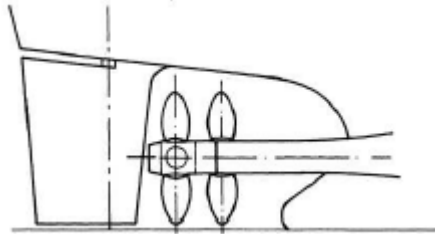
Sejarah Kaplan atau Ka – *propeller* bermula dari penggunaan *propeller* b-series yang menggunakan *nozzle*, prinsip b-series yang tidak simetris pada ujung daun dan bekerja pada pada ruang *nozzle* membuat *kavitasi* pada sisi ujung propeller jenis b-series. Bagian ujung b-series dilakukan pemotongan sehingga ujung pisau *propeller* mengikuti alur pada *nozzle* dan lebih luas dari type B – series.



Gambar 2.2.2.2 Ka propeller menggunakan kort nozzle

2.2.3 *Contra rotating Propeller*

Kontra rotating *propeller* adalah dua buah baling – baling yang bekerja pada satu axis dengan masing – masing berputar berlawanan arah satu sama lain. Keuntungan *propeller* ini adalah agar energi rotasi slipstream yang bekerja pada *propeller* tidak hilang yang dibandingkan dengan *propeller* single screw. Penggunaan *propeller* ini biasanya digunakan pada kapal niaga yang memiliki rpm yang tinggi[3].



Gambar 2.2.3.3 *Contra rotating Propeller*

2.2.4 *Pitch*

Pitch merupakan jarak translasi yang ditempuh *propeller* dalam satu kali putaran. *Pitch* dapat dijelaskan pada Gambar yaitu sebuah *blade* section (foil) berputar dalam sebuah tabung dengan jari- jari r . *Blade* section (foil) pada bidang X-Z atau X-Y berputar pada bidang Y-Z dengan sumbu OX sebesar 360° atau 2π radian. Ketika bidang foil berputar dalam satu putaran maka akan menghasilkan jarak tempuh, jarak tempuh *blade* section dalam bidang Y-Z sebesar 360° ini dinamakan *Pitch* [3].

Pre-processor adalah proses awal di mana *domain-domain* serta *boundary condition* ditentukan. *Domain* adalah kondisi-kondisi awal dari sistem, sedangkan *boundary condition* adalah kondisi-kondisi yang membatasi eksperimen di mana kondisi tersebut harus di tentukan. Setelah itu dilakukan proses meshing yaitu benda yang dianalisa dibagi dalam jumlah grid tertentu yang bertujuan untuk dilakukan simulasi selanjutnya.

b. *Processor / solver*

Tahap kedua yaitu processor akan dilakukan proses perhitungan data yang telah di input tersebut menggunakan persamaan terkait secara iteratif hingga hasil yang didapatkan dengan eror terkecil. Keseluruhan volume *control* harus masuk dalam perhitungan dengan proses integrasi persamaan diskrit.

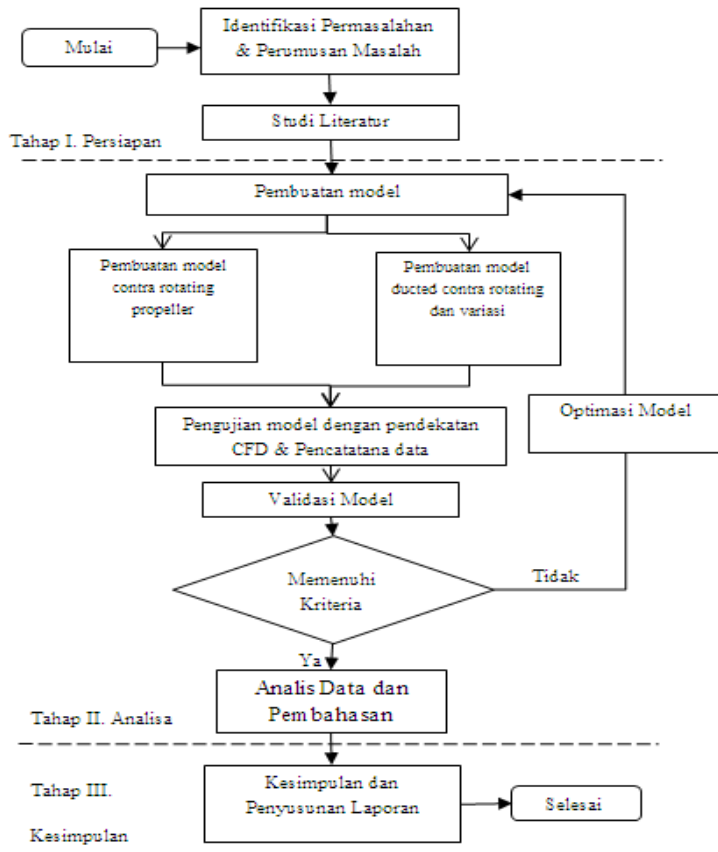
c. *Post processing*

Tahap ketiga yaitu *post processing* yaitu visualisasi hasil perhitungan *numeric* oleh komputer yang dilakukan beberapa iterasi. hasil dari perhitungan pada tahap sebelumnya akan ditampilkan dalam gambar, grafik maupun animasi dengan perbedaan pola warna. Adapun yang dapat ditampilkan pada post processor adalah :

- a. *Domain* geometri dan display
- b. Plot kontur
- c. Particle tracking
- d. Animasi display hasil dinamik
- e. Plot 2D dan 3D *surface*

BAB III METODOLOGI

Tugas akhir yang baik membutuhkan metodologi atau kerangka dasar dengan membuat alur pengerjaan yang terstruktur dan akurat. Metodologi tersebut mencakup semua kegiatan untuk memecahkan masalah terhadap permasalahan pada tema *ducted contra rotating propeller*.



3.1 Identifikasi Permasalahan & Perumusan Masalah

Pada tugas akhir ini identifikasi dilakukan pada jenis baling-baling *contra rotating propeller*, permasalahan yang diangkat bagaimana nilai yang dihasilkan seperti *thrust* dan efisiensi memiliki peningkatan dengan cara *propeller* jenis ini dilakukan variasi *pitch* pada *propeller* bagian belakang terhadap *propeller* bagian depan dan penambahan *kort nozzle*.

3.2 Studi Literatur

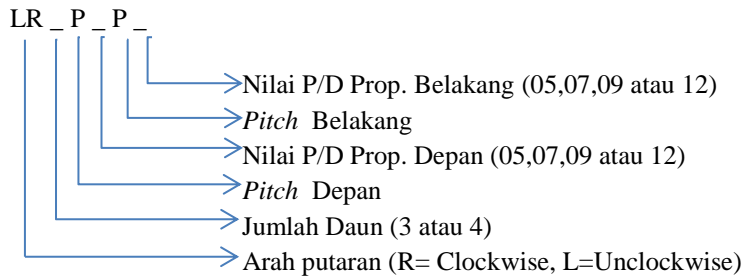
Studi literatur adalah mempelajari dan merangkum teori-teori dasar, menentukan acuan secara umum yang mendukung pada tugas akhir ini. Studi literatur didapatkan dari beberapa sumber seperti buku, jurnal, tugas akhir, dan paper. Pada tugas akhir ini, studi literatur yang diambil antara lain proses pembuatan design *propeller*, sifat hidrodinamika aliran pada airfoil dan teori karakteristik *propeller* yang diperoleh dari buku – buku dan jurnal.

3.3 Pembuatan Model

Pembuatan model yang dilakukan perlu dilakukan kajian literatur terhadap penelitian sebelumnya. Pembuatan model gambar seperti *kort nozzle* harus sesuai karakteristik baling-baling yang terpasang. Pembuatan model ini dilakukan pada software CFD. Penggambaran model dilakukan skala 1:1 agar analisa yang dihasilkan lebih akurat sesuai pengujian konvensional.

3.3.1 Penamaan Model

Banyaknya variasi model yang akan dibuat maka diperlukan kode penamaan pada masing – masing model. Dengan tujuan mempermudah dalam pembacaan dan pemahaman secara spesifik terhadap model yang dibuat. Kode penamaan model sebagai berikut:



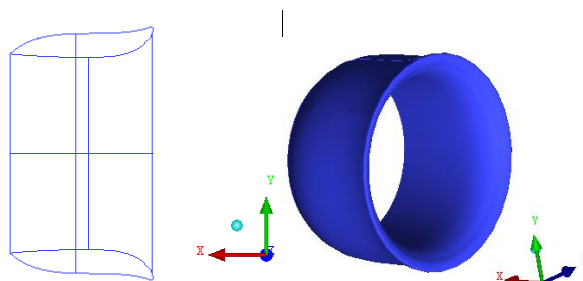
Sebagai contoh LR4P05P09, maka dapat diartikan bahwa model tersebut *propeller* memiliki 4 jumlah daun dengan pada bagian depan berputar *unclockwise* dan memiliki nilai ratio *pitch* 05 dan juga pada bagian belakang berputar *clockwise* dan memiliki nilai ratio *pitch* 09.

3.3.2 *Kort nozzle*

Penggambaran *kort nozzle* berdasarkan e-book karangan john carlton dimana data yang disajikan berupa titik-titik koordinat. Penggambaran *kort nozzle* dilakukan dengan bantuan software CFD pada tahap pre-processor.

Adapun koordinat dari *kort nozzle* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Type : *Nozzle 19 A*
 Panjang : 2300 mm



Gambar 3.3.2.7 Profil *Kort nozzle* Type 19 A

Tabel 3.3.2.1 Koordinat kort nozzle Type 19 A

X/L (%)	x	y in/L	y in	y in + 1/2 D	y up/L	y up	y up + 1/2 D
0	1,800	0,1825	0,41975	1,96975	0,2072	0,47656	2,02656
0,0125	1,771	0,1466	0,33718	1,88718	0,2107	0,48461	2,03461
0,025	1,743	0,128	0,2944	1,8444	0,208	0,4784	2,0284
0,05	1,685	0,1087	0,25001	1,80001	0	0	1,55
0,075	1,628	0,08	0,184	1,734	0	0	1,55
0,1	1,570	0,0634	0,14582	1,69582	0	0	1,55
0,15	1,455	0,0387	0,08901	1,63901	0	0	1,55
0,2	1,340	0,0217	0,04991	1,59991	0	0	1,55
0,25	1,225	0,011	0,0253	1,5753	0	0	1,55
0,3	1,110	0,0048	0,01104	1,56104	0	0	1,55
0,4	0,880	0	0	1,55	0	0	1,55
0,5	0,650	0	0	1,55	0	0	1,55
0,6	0,420	0	0	1,55	0	0	1,55
0,7	0,190	0,0029	0,00667	1,55667	0	0	1,55
0,8	-0,040	0,0082	0,01886	1,56886	0	0	1,55
0,9	-0,270	0,0145	0,03335	1,58335	0	0	1,55
0,95	-0,385	0,0186	0,04278	1,59278	0,0636	0,14628	1,69628
1	-0,500	0,0236	0,05428	1,60428	0	0	1,55

3.3.3 Ka Propeller

Membuat model *ka-propeller* menggunakan salah satu software CFD pada tahap Pre – prosessor. Pada tahap tersebut menentukan dimensi, penamaan bagian-bagian part dan jumlah *domain*.

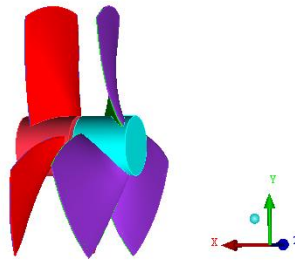
Dimensi model yang dibuat adalah :

Diameter : 3 meter

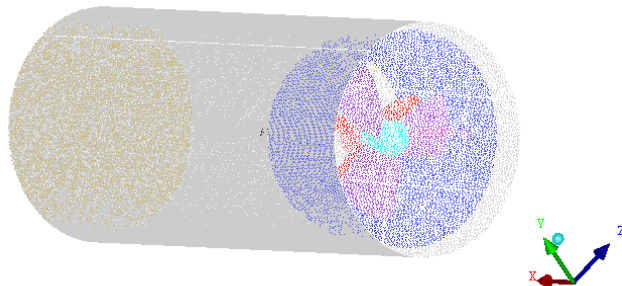
Hub : 0,6 meter

Jarak prop 1 – 2 : 0,05 meter

Propeller yang dibuat adalah *contra rotating*, dimana pada *propeller* bagian depan (FP) berputar berlawanan arah jarum jam, sedangkan pada *propeller* bagian belakang (AP) berputar searah jarum jam. Pada bagian pre-prosessor juga menentukan jumlah *domain/body*, *domain* yang pada setiap model ada 3 yaitu *domain* fluid pada ruang tabung, *domain* solid pada *propeller* AP dan *domain* solid pada *propeller* FP. *Domain* yang telah terbentuk selanjutnya dilakukan meshing.



Gambar 3.3.3.8 Model *Contra rotating Propeller*



Gambar 3.3.3.9 Meshing *Ducted Contra rotating Propeller*

Tahap kedua dalam CFD adalah *processor*, pada tahap ini mengatur dan menentukan semua bagian kedalam atau menjadi *domain*, *boundary*, *inlet*, *outlet*, *wall*, *solver* dan *post*.

a. *Domain*

Domain merupakan daerah batasan atau ruang lingkup analisa benda, dimana benda yang dianalisa adalah benda fluida dan solid. Pada simulasi ini dilakukan input 3 *domain* yaitu *domain* stasioner pada benda fluida kerja, *domain* rotating solid pada *propeller* depan dan *domain* rotating solid pada *propeller* belakang. Pada *propeller* bagian depan berputar berlawanan arah jarum jam sedangkan pada bagian belakang berputar sebaliknya. Berikut adalah salah satu setting *domain* pada salah satu model LR\$P05P09 pada tabel 3.3.3.2.

Tabel 3.3.3.2 *Domain Physics* for LR4P05P09 J 05

<i>Domain – Domain 1</i>	
Type	Fluid
Location	FLUID
<i>Materials</i>	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<i>Settings</i>	
Buoyancy Model	Non Buoyant
<i>Domain Motion</i>	Stationary
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Total Energy
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable
High Speed Model	Off
<i>Domain – Domain 2</i>	
Type	Immersed Solid
Location	PROP1
<i>Settings</i>	
<i>Domain Motion</i>	Rotating
Angular Velocity	1.6100e+01 [radian s ⁻¹]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Coord 1.3
<i>Domain – Domain 3</i>	
Type	Immersed Solid
Location	PROP2
<i>Settings</i>	
<i>Domain Motion</i>	Rotating

Angular Velocity	-1.6100e+01 [radian s ⁻¹]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Coord 2.3

b. Boundary

Boundary atau kondisi batas dibuat untuk mengetahui karakteristik benda dan fluida agar mendekati dengan kondisi yang sebenarnya. Berikut adalah salah satu setting Boundary pada salah satu model LR\$P05P09 pada tabel 3.3.3.4.

Tabel 3.3.3.3 Boundary Physics for LR4P05P09 J 05

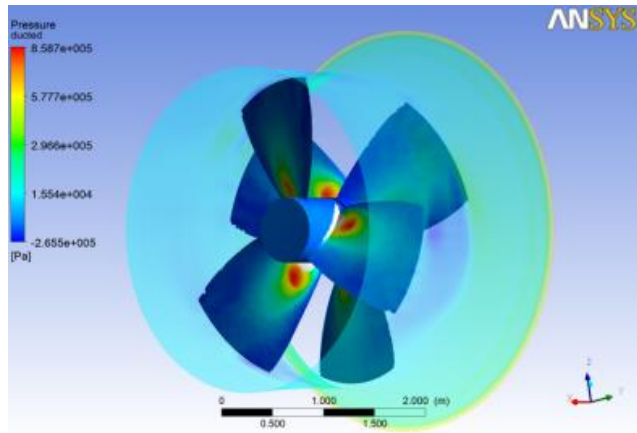
<i>Domain</i>	Boundaries	
<i>Domain</i> 1	Boundary – INLET	
	Type	INLET
	Location	INLET
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Heat Transfer	Static Temperature
	Static Temperature	2.5000e+01 [C]
	Mass And Momentum	Normal Speed
	Normal Speed	3.9000e+00 [m s ⁻¹]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - INLET 2	
	Type	INLET
	Location	INLET_2
	<i>Settings</i>	
	Flow Direction	Normal to <i>Boundary condition</i>
	Flow Regime	Subsonic
	Heat Transfer	Static Temperature

Static Temperature	2.5000e+01 [C]
Mass And Momentum	Mass Flow Rate
Mass Flow Rate	6.0051e+04 [kg s ⁻¹]
Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
Boundary – WALL	
Type	OPENING
Location	WALL
<i>Settings</i>	
Flow Direction	Normal to <i>Boundary condition</i>
Flow Regime	Subsonic
Heat Transfer	Opening Temperature
Opening Temperature	2.5000e+01 [K]
Mass And Momentum	Opening Pressure and Direction
Relative Pressure	1.0000e+00 [atm]
Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
Boundary – OUTLET	
Type	OUTLET
Location	OUTLET
<i>Settings</i>	
Flow Regime	Subsonic
Mass And Momentum	Mass Flow Rate
Mass Flow Rate	6.0051e+04 [kg s ⁻¹]
Boundary – DUCTED	
Type	WALL
Location	DUCTED
<i>Settings</i>	
Heat Transfer	Adiabatic

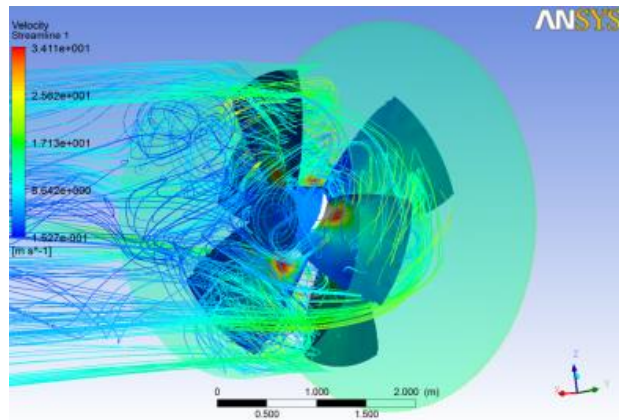
	Mass And Momentum	No Slip Wall
	Wall Roughness	Smooth Wall
	Boundary - Domain 1 Default	
	Type	WALL
	Location	<i>Face FP, Back FP, Face AP, Back AP</i>
	<i>Settings</i>	
	Heat Transfer	Adiabatic
	Mass And Momentum	No Slip Wall
	Wall Roughness	Smooth Wall
Domain 2	Boundary - Domain 2 Default	
	Type	WALL
	Location	<i>Face FP, Back FP</i>
	<i>Settings</i>	
Domain 3	Boundary - Domain 3 Default	
	Type	WALL
	Location	<i>Face AP, Back AP</i>
	<i>Settings</i>	

3.4 Simulasi (running) CFD & Pencatatan Data

Model yang telah selesai proses running maka dapat dilanjutkan ke tahap post processor. Pada tahap tersebut data dari perhitungan dengan metode CFD yang diinginkan dapat dipilih untuk proses perhitungan selanjutnya.. pada post processor dapat diketahui kontur tekanan *propeller* sekaligus kecepatan aliran yang bekerja dibelakang *propeller*. Sebagai contoh ada pada gambar berikut.



Gambar 3.4.10 Kontur pada Model



Gambar 3.4.11 Aliran pada Model

3.5 Validasi

Validasi model atau dalam dunia CFD yaitu grid independence. Grid independence perlu dilakukan untuk mendapatkan jumlah elemen yang efektif agar data yang dihasilkan memiliki keakuratan yang baik.

Validasi hasil dapat dilakukan dengan membandingkan antara hasil analisa perhitungan program lain atau eksperimen. Hasil dianggap valid jika data hasil analisa memiliki selisih yang tidak jauh atau mendekati dengan pembandingnya.

3.6 Analisa Data *Propeller*

Data yang digunakan pada hasil penelitian ini berupa hasil perhitungan computerasi dari software CFD. Data tersebut akan diolah pada Bab 3 pembahasan.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Dalam bab ini akan dijelaskan deskripsi model dan tahap analisa dari data-data yang telah dihasilkan dari proses simulasi CFD. Di dalam *post-processor* pada menu *function calculator* data- data tersebut dapat diambil antara lain, nilai pressure, wallshear dan *torque*.

4.2 Design Kort nozzle

Adapun dimensi dari *kort nozzle* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Type : Nozzle 19 A
 Panjang : 2300 mm

Pembuatan *kort nozzle* pada setiap model memiliki ukuran yang sama, untuk koordinat yang tergambar terdapat pada tabel 4.2.5.

Tabel 4.2.4 Koordinat Nozzle Type 19 A

X/L (%)	x	y in/L	y in	y in + 1/2 D	y up/L	y up	y up + 1/2 D
0	1,800	0,1825	0,41975	1,96975	0,2072	0,47656	2,02656
0,0125	1,771	0,1466	0,33718	1,88718	0,2107	0,48461	2,03461
0,025	1,743	0,128	0,2944	1,8444	0,208	0,4784	2,0284
0,05	1,685	0,1087	0,25001	1,80001	0	0	1,55
0,075	1,628	0,08	0,184	1,734	0	0	1,55
0,1	1,570	0,0634	0,14582	1,69582	0	0	1,55
0,15	1,455	0,0387	0,08901	1,63901	0	0	1,55
0,2	1,340	0,0217	0,04991	1,59991	0	0	1,55
0,25	1,225	0,011	0,0253	1,5753	0	0	1,55
0,3	1,110	0,0048	0,01104	1,56104	0	0	1,55
0,4	0,880	0	0	1,55	0	0	1,55
0,5	0,650	0	0	1,55	0	0	1,55
0,6	0,420	0	0	1,55	0	0	1,55
0,7	0,190	0,0029	0,00667	1,55667	0	0	1,55
0,8	-0,040	0,0082	0,01886	1,56886	0	0	1,55
0,9	-0,270	0,0145	0,03335	1,58335	0	0	1,55
0,95	-0,385	0,0186	0,04278	1,59278	0,0636	0,14628	1,69628
1	-0,500	0,0236	0,05428	1,60428	0	0	1,55

4.3 Design Ka – Propeller

Ducted Contra Rotating Propeller merupakan combine antara *contra rotating propeller* dengan *kort nozzle*. Prinsip yang digunakan pada *propeller* yang menggunakan *ducted* atau *kort nozzle* menggunakan jenis baling – baling kaplan. Berikut deskripsi baling – baling yang akan dianalisa :

Propeller

Type	: Ka - <i>Propeller</i>
Diameter	: 3000 mm
P/D	: 0,5 / 0,7 / 0,9 / 1,2
Ae/Ao	: 0,55
Jumlah Daun	: 3 dan 4 <i>Blade</i>

Tabel 4.3.5 Spesifikasi Ka *Propeller* dengan *Pitch* 2,14 meter.

Geometry		
r/R	Chord	Max T
1.0000	1.11735	0.01500
0.9000	1.11517	0.02813
0.8000	1.09953	0.04125
0.7000	1.04786	0.05438
0.6000	0.98986	0.06750
0.5000	0.92067	0.08063
0.4000	0.84326	0.09375
0.3000	0.75813	0.10688
0.2000	0.66469	0.12000

Tabel 4.3.6 merupakan salah satu dimensi pada model ka-*propeller* dengan *pitch* 2.14 meter. Sedangkan untuk deskripsi nama dan variasi model yang dibuat untuk dianalisa terdapat pada tabel 4.3.7.

Tabel 4.3.6 Nama dan Variasi *Pitch* Model

Jenis Propeller	Prop FP			Prop AP		
	P/D	Θ (degree)	Pitch (m)	P/D	Θ (degree)	Pitch (m)
LR3P05P05	0,5	12,82	2,14	0,5	12,82	2,14
LR3P05P07	0,5	12,82	2,14	0,7	17,67	3
LR3P05P09	0,5	12,82	2,14	0,9	22,28	3,85
LR3P05P12	0,5	12,82	2,14	1,2	28,65	5,14
LR4P05P05	0,5	12,82	2,14	0,5	12,82	2,14
LR4P05P07	0,5	12,82	2,14	0,7	17,67	3
LR4P05P09	0,5	12,82	2,14	0,9	22,28	3,85
LR4P05P12	0,5	12,82	2,14	1,2	28,65	5,14

4.4 Analisa Data dari CFD

4.4.1 Data Hasil Simulasi

Propeller yang dibuat pada penelitian ini berjumlah 8 model, dimana setiap model dilakukan running sebanyak 10 kali. Setelah semua model telah dilakukan running, data hasil simulasi dapat ditampilkan dan diambil pada tahap post – processor dari bagian metode CFD.

Berikut salah satu contoh data hasil running pada model LR03P05P05 dengan sudut *pitch* masing – masing *propeller* bagian depan dan belakang bernilai $12,82^\circ$ dan $12,82^\circ$ antara lain luasan area (m^2), pressure (Pa) dan wallshear (Pa).

Tabel 4.4.1.7 Hasil Running pada LR3P05P05

JENS		Propeller Depan					
		A Face (m2)	A Back(m2)	P1 Face (Pa)	P1 Back (Pa)	WS1 Face (Pa)	WS1 Back (Pa)
LR3P05P05	J01	3,516	3,412	266800	186800	2484	1745
	J02	3,516	3,412	618800	675900	3703	3464
	J04	3,516	3,412	229100	237300	1040	1085
	J05	3,516	3,412	100100	117100	136	169,9
	J06	3,516	3,412	83580	110000	131,9	138,4
	J07	3,516	3,412	111000	135200	182,4	229,2
	J08	3,516	3,412	123200	118200	296,1	186,4
	J1.0	3,516	3,412	106800	103600	154,3	67,14
	J1.2	3,516	3,412	109500	114200	55,13	75,24
	J1.4	3,516	3,412	112800	115800	77,31	77,21

Propeller Belakang					
A Face (m2)	A Back (m2)	P2 Face (Pa)	P2 Back (Pa)	WS2 Face	WS2 Back
3,516	3,719	523700	1234000	3841	4509
3,516	3,719	841400	919500	4503	3410
3,516	3,719	380100	397600	1698	1191
3,516	3,719	297900	329900	140,9	220,5
3,516	3,719	301700	325900	133,5	215,1
3,516	3,719	291100	321900	130,1	199
3,516	3,719	226800	242100	574,2	366,1
3,516	3,719	210700	237600	435,6	239
3,516	3,719	196200	213700	131,8	129,3
3,516	3,719	204800	220100	77,94	123,4

4.4.2 Perhitungan

Pada sub bab ini akan dijelaskan cara perhitungan dari data- data yang diperoleh simulasi CFD, adapun nilai dan langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

❖ Nilai *Force lift*

Nilai *force lift* didapat dari persamaan (2.8) yaitu :

$$F = P \times A$$

Nilai pressure (P) dan luas area (A) diambil dari CFX post dengan menggunakan function calculator. Harga yang diambil adalah nilai yang sejajar dengan sumbu putar pada sisi *face* dan *back propeller* yaitu sumbu x. Adapun contoh perhitungannya adalah sebagai berikut (*propeller* LR3P05P05 dengan rps 12,9) :

Pada *Face*

$$\begin{aligned} F &= P \times A \\ &= 266800 \times 3,51 \\ &= 938068,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada *back*

$$\begin{aligned} F &= P \times A \\ &= 186800 \times 3,41 \\ &= 637361,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka resultan gaya lift sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Flift} &= F_{\text{face}} + F_{\text{back}} \\ &= 938068,8 + 637361,6 \\ &= 1575430,4 \text{ N} \end{aligned}$$

❖ Nilai *Force Drag*

Nilai *Force Drag* didapat dari persamaan (2.7) yaitu :

$$F = \tau \times A$$

Nilai wallshear (τ) dan luas area (A) diambil dari CFX post dengan menggunakan function calculator. Harga yang diambil adalah nilai yang tegak lurus dengan sumbu putar pada sisi *face* dan *back propeller* yaitu sumbu y. Adapun contoh perhitungannya adalah sebagai berikut (*propeller* LR3P05P05 dengan rps 3,21) :

Pada *Face*

$$\begin{aligned} F &= \tau \times A \\ &= 2484 \times 3,51 \\ &= 8733,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada *back*

$$\begin{aligned} F &= \tau \times A \\ &= 1745 \times 3,41 \\ &= 5953,9 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka resultan gaya drag sebesar :

$$\begin{aligned} F_{\text{drag}} &= F_{\text{face}} + F_{\text{back}} \\ &= 8733,7 + 5953,9 \\ &= 14687,7 \text{ N} \end{aligned}$$

❖ Nilai *Thrust*

Nilai *thrust* didapat dari persamaan (2.11) yaitu :

$$T = \text{Flift} \cos \Theta - F_{\text{drag}} \sin \Theta$$

$$\begin{aligned} \Theta &= \tan^{-1} (P/D)/0,7\pi \\ &= \tan^{-1} (0,5/(0,7 \times 3,14)) \\ &= 12,81^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } T &= \text{Flift} \cos \Theta - F_{\text{drag}} \sin \Theta \\ &= (1575430,4 \cos 12,81^\circ) - (14687,7 \sin 12,81^\circ) \\ &= 770,71 \text{ kN} \end{aligned}$$

❖ Nilai *Torque*

Nilai *torque* didapat dari persamaan (2.13) yaitu :

$$Q = (F_{\text{lift}} \sin \Theta + F_{\text{drag}} \cos \Theta) \times r$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } Q &= (F_{\text{lift}} \sin \Theta + F_{\text{drag}} \cos \Theta) \times r \\ &= (1575430,4 \sin 12,81^\circ) + (14687,7 \cos 12,81^\circ) \times 1,5 \\ &= 332,26 \text{ kNm} \end{aligned}$$

❖ Nilai Efisiensi *Propeller*

Berdasarkan persamaan (2.5) nilai efisiensi *propeller* pada open water diberikan rumus :

$$\eta_0 = \frac{TV}{2\pi Qn}$$

Maka perhitungan efisiensinya adalah :

$$\begin{aligned} \eta_0 &= T V_a / 2\pi Q n \\ &= 770,71 \times 3,9 / (2 \times 3,14 \times 332,26 \times 12,9) \\ &= 0,075 \end{aligned}$$

4.4.3 Hasil Perhitungan

Semua model yang telah mendapatkan hasil data seperti pressure dan wallshear dapat dilakukan perhitungan seperti pada langkah sub-bab 4.4.2. Dalam sub-bab ini akan ditampilkan hasil perhitungan dalam bentuk tabel antara lain hasil perhitungan *contra rotating propeller* dengan menggunakan *kort nozzle* dan hasil perhitungan *ducted contra rotating propeller* yang divariasikan.

➤ Hasil Perhitungan CRP dan DCRP pada J 0,4

Tabel 4.4.3.8 Baling - Baling Depan DCRP pada J 0,4

DCRP DENGAN J 04			Propeller Depan							
Type	J	rps	F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
LR3P05P05	0,4	3,2	805515,6	809667,6	1615183,2	3656,64	3702,02	7358,66	1573,1707	548,37577
LR3P05P07	0,4	3,2	1027618,2	760624,2	1788242,4	2848,383	2432,7954	5281,1784	1702,0552	821,91266
LR3P05P09	0,4	3,2	605693,7	723730,7	1329424,4	1534,2615	2121,0798	3655,3413	1228,7307	761,05062
LR3P05P12	0,4	3,2	707559	612005,8	1319564,8	2352,5145	1701,2026	4053,7171	1155,9752	954,03682
LR4P05P05	0,4	3,2	454890	961056	1415946	940,62	582,8	1523,42	1380,2093	473,52563
LR4P05P07	0,4	3,2	400430,6	164688	565118,6	377,22952	2874,896	3252,1255	537,40114	262,00246
LR4P05P09	0,4	3,2	501317,2	637324,6	1138641,8	597,8978	809,6736	1407,5714	1053,0516	649,4423
LR4P05P12	0,4	3,2	624779,4	596614,8	1221394,2	1063,1418	763,1376	1826,2794	1070,8981	880,5252

Tabel 4.4.3.9 Baling - Baling Belakang DCRP pada J 0,4

Propeller Belakang							
F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
1336431,6	1478674,4	2815106	5970,168	4429,329	10399,497	2742,4207	952,2173
459316,8	21101,756	480418,56	5885,856	1981,5471	7867,4031	466,66232	171,41339
82129,14	149026,59	231155,73	4385,097	3547,44	7932,537	223,61661	88,54152
104499,45	99123,72	203623,17	3823,815	4762,35	8586,165	196,62732	80,333238
232302,3	90930,21	323232,51	946,017	1007,0361	1953,0531	314,71831	110,44428
219061,36	73450,86	292512,22	1054,069	1101,7629	2155,8319	284,72104	100,5156
196693,72	65218,14	261911,86	1103,7246	1113,7308	2217,4554	254,87201	90,420391
200351,2	54454,95	254806,15	1061,6354	969,1881	2030,8235	247,98536	87,782306

Tabel 4.4.3.10 Hasil Resultan DCRP pada J 0,4

DCRP DENGAN J 04					
Type	J	rps	T (kN)	Q (kNm)	η
LR3P05P05	0,4	3,2	4024,50	1426,20	0,55
LR3P05P07	0,4	3,2	1826,89	840,52	0,42
LR3P05P09	0,4	3,2	2892,58	1748,35	0,32
LR3P05P12	0,4	3,2	1634,77	1274,43	0,25
LR4P05P05	0,4	3,2	1400,03	490,76	0,55
LR4P05P07	0,4	3,2	1709,97	800,55	0,41
LR4P05P09	0,4	3,2	1023,04	602,10	0,33
LR4P05P12	0,4	3,2	928,78	709,82	0,25

Tabel pada 4.4.3.9 -11 merupakan hasil perhitungan dengan cara langkah-langkah pada sub-bab 4.4.2. Perhitungan dilakukan pada setiap model jenis *ducted contra rotating* (DCRP)

dengan nilai j (koefisien advance) 0,4 atau putaran *propeller* 3,2 rps. Dalam tabel tersebut menjelaskan nilai – nilai seperti *thrust*, *torque* dan efisiensi *propeller*.

Tabel 4.4.3. 11 Baling - Baling Depan CRP pada J 0,4

CRP DENGAN J 04			Propeller Depan							
Type	J	rps	F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
LR3P05P05	0,4	3,2	927784,6	1303466,3	2231250,9	3594,374	3869,84	7464,214	2173,8133	753,58828
LR3P05P07	0,4	3,2	723565,6	811467,8	1535033,4	2782,4949	3007,538	5790,0329	1460,6685	707,32846
LR3P05P09	0,4	3,2	598555,8	2329372,4	2927928,2	2434,6144	3224,34	5658,9544	2707,0667	1672,8207
LR3P05P12	0,4	3,2	811377	852034	1663411	3419,01	2919,494	6338,504	1456,6051	1204,2524
			0	0						
LR4P05P05	0,4	3,2	684231,8	625873,5	1310105,3	3419,2305	2379,8229	5799,0534	1276,0659	444,54966
LR4P05P07	0,4	3,2	840826	731138,4	1571964,4	2051,924	1661,2337	3713,1577	1496,4832	721,17888
LR4P05P09	0,4	3,2	407316,3	569412,4	976728,7	393,7767	1269,6904	1663,4671	903,13645	557,72558
LR4P05P12	0,4	3,2	429882,3	494153	924035,3	598,3751	875,8816	1474,2567	810,13436	666,27567

Tabel 4.4.3.12 Baling - Baling Belakang CRP pada J 0,4

Propeller Belakang							
F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
3383705,7	9287,616	3392993,3	4783,12	6965,712	11748,832	3305,5614	1146,5405
3469951	298239,48	3768190,5	4587,626	720,8901	5308,5161	3672,8078	1262,0059
838465,6	1082334	1920799,6	3788,416	4143,15	7931,566	1871,0196	650,93806
808315,2	1032873,2	1841188,4	2510,3358	3574,048	6084,3838	1793,8086	621,73797
769471,5	507735	1277206,5	1336,8362	1188,8521	2525,6883	1244,7159	428,812
1842103,2	357106,95	2199210,2	3449,3151	771,7572	4221,0723	2143,2932	738,18042
761226,4	473647,2	1234873,6	1329,8896	904,7688	2234,6584	1203,5059	414,29587
749191,2	472160,7	1221351,9	1182,4584	794,5047	1976,9631	1190,3794	409,41829

Tabel 4.4.3.13 Hasil Resultan CRP pada J 0,4

CRP DENGAN J 04					
Type	J	rps	T (kN)	Q (kNm)	η
LR3P05P05	0,4	3,213	5479,37	1900,13	0,56
LR3P05P07	0,4	3,213	5133,48	1969,33	0,42
LR3P05P09	0,4	3,213	4578,09	2323,76	0,33
LR3P05P12	0,4	3,213	3250,41	1825,99	0,25
LR4P05P05	0,4	3,213	2520,78	873,36	0,56
LR4P05P07	0,4	3,213	3639,78	1459,36	0,44
LR4P05P09	0,4	3,213	2106,64	972,02	0,34
LR4P05P12	0,4	3,213	2000,51	1075,69	0,26

Tabel pada 4.4.3.12 -14 merupakan hasil perhitungan dengan cara langkah-langkah pada sub-bab 4.4.2. Perhitungan dilakukan pada setiap model jenis *contra rotating* (CRP) dengan nilai *j* (koefisien advance) 0,4 atau putaran *propeller* 3,2 rps. Dalam tabel tersebut menjelaskan nilai – nilai seperti *thrust*, *torque* dan efisiensi *propeller*.

➤ Hasil Perhitungan Variasi *Pitch*

Tabel 4.4.3.14 Model LR3P05P05 *Propeller* Depan

	J	rps	Propeller Depan							
			F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
LR3P05P05	0,1	12,85	938068,8	637361,6	1575430,4	8733,7	5953,9	14687,7	1532,8	545,9
	0,2	6,425	2175700,8	2306170,8	4481871,6	13019,7	11819,2	24838,9	4364,3	1528,1
	0,4	3,213	805515,6	809667,6	1615183,2	3656,6	3702,0	7358,7	1573,2	548,4
	0,5	2,57	351951,6	399545,2	751496,8	478,2	579,7	1057,9	732,5	251,7
	0,6	2,142	293867,3	375320,0	669187,3	463,8	472,2	936,0	652,2	224,1
	0,7	1,836	390276,0	461302,4	851578,4	641,3	782,0	1423,3	830,0	285,5
	0,8	1,606	433171,2	403298,4	836469,6	1041,1	636,0	1677,1	815,2	280,9
	1,0	1,285	375508,8	353483,2	728992,0	542,5	229,1	771,6	710,6	243,8
	1,2	1,071	385002,0	389650,4	774652,4	193,8	256,7	450,6	755,2	258,5
	1,4	0,918	396604,8	395109,6	791714,4	271,8	263,4	535,3	771,8	264,3

Tabel 4.4.3.15 Model LR3P05P05 *Propeller* Belakang

Propeller Belakang								Resultan	
F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)	T (kN)	Q (kNm)
1841329,2	4589246,0	6430575,2	13505,0	16769,0	30273,9	6263,1	2184,7	7795,9	2730,6
2958362,4	3419620,5	6377982,9	15832,5	12681,8	28514,3	6212,2	2164,6	10576,5	3692,7
1336431,6	1478674,4	2815106,0	5970,2	4429,3	10399,5	2742,4	952,2	4315,6	1500,6
1047416,4	1226898,1	2274314,5	495,4	820,0	1315,4	2217,2	758,9	2949,6	1010,6
1060777,2	1212022,1	2272799,3	469,4	800,0	1269,3	2215,7	758,4	2867,9	982,5
1023507,6	1197146,1	2220653,7	457,4	740,1	1197,5	2164,9	740,9	2994,8	1026,4
797428,8	900369,9	1697798,7	2018,9	1361,5	3380,4	1654,6	570,1	2469,8	850,9
740821,2	883634,4	1624455,6	1531,6	888,8	2420,4	1583,3	544,2	2293,9	788,0
689839,2	794750,3	1484589,5	463,4	480,9	944,3	1447,3	495,5	2202,5	754,0
720076,8	818551,9	1538628,7	274,0	458,9	733,0	1500,0	513,2	2271,8	777,5

Tabel pada 4.4.3.15 - 16 merupakan hasil perhitungan dengan cara langkah-langkah pada sub-bab 4.4.2. Perhitungan dilakukan pada model LR3P05P05 dengan sudut *pitch* masing – masing *propeller* bagian depan dan belakang bernilai $12,82^{\circ}$ dan $12,82^{\circ}$. Dalam tabel tersebut menjelaskan nilai – nilai seperti *thrust* dan *torque* dari putaran *propeller* 12,85 – 0,918 rps.

Tabel 4.4.3.16 Model LR3P05P07 *Propeller Depan*

	J	rps	Propeller Depan							
			F Face	F Back	F lift	F Face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
LR3P05P07	0,1	12,85	212571,5	284015,3	496586,9	8653,4	14755,0	23408,5	466,0	259,6
	0,2	6,425	3462066,0	2138963,4	5601029,4	10730,0	8584,6	19314,6	5330,2	2578,3
	0,4	3,213	1027618,2	760624,2	1788242,4	2848,4	2432,8	5281,2	1702,1	821,9
	0,5	2,57	292573,8	281577,9	574151,7	280,5	631,4	911,9	546,7	262,8
	0,6	2,142	423561,6	343583,1	767144,7	314,1	384,3	698,4	730,6	350,4
	0,7	1,836	325097,3	335903,4	661000,7	194,8	488,8	683,6	629,5	302,0
	0,8	1,606	473756,4	442417,5	916173,9	646,0	855,1	1501,1	872,4	419,4
	1,0	1,285	409122,0	389661,3	798783,3	402,6	548,9	951,5	760,7	365,1
	1,2	1,071	461035,8	388325,7	849361,5	296,1	411,4	707,5	809,0	387,8
	1,4	0,918	392619,6	416707,2	809326,8	150,3	450,8	601,0	770,9	369,4

Tabel 4.4.3.17 Model LR3P05P07 *Propeller Belakang*

Propeller Belakang								Resultan	
F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)	T (kN)	Q (kNm)
603369,0	-1684532,2	-1081163,2	9595,5	40626,6	50222,0	-1065,3	-286,4	599,3	26,8
1355947,2	20380,1	1376327,3	17520,0	6271,1	23791,1	1336,6	492,9	6666,9	3071,2
459316,8	21101,8	480418,6	5885,9	1981,5	7867,4	466,7	171,4	2168,7	993,3
141336,2	42263,7	183599,8	813,8	631,8	1445,6	178,7	63,2	725,4	326,0
133016,2	43499,8	176516,0	728,2	323,9	1052,0	171,9	60,3	902,5	410,6
134907,1	38655,4	173562,5	835,8	370,2	1206,0	169,0	59,5	798,5	361,5
187199,1	32634,9	219834,0	1902,9	699,3	2602,2	213,8	77,0	1086,1	496,3
148831,0	31742,8	180573,9	1285,8	470,7	1756,6	175,7	62,7	936,4	427,8
121086,4	42764,8	163851,2	1012,8	339,4	1352,3	159,5	56,5	968,4	444,3
126621,5	43266,0	169887,5	852,3	369,5	1221,8	165,4	58,3	936,2	427,8

Tabel pada 4.4.3.17 - 18 merupakan hasil perhitungan dengan cara langkah-langkah pada sub-bab 4.4.2. Perhitungan dilakukan pada model LR3P05P07 dengan sudut *pitch* masing – masing *propeller* bagian depan dan belakang bernilai $12,82^{\circ}$ dan $17,67^{\circ}$. Dalam tabel tersebut menjelaskan nilai – nilai seperti *thrust* dan *torque* dari putaran *propeller* 12,85 – 0,918 rps.

Tabel 4.4.3.18 Model LR3P05P09 *Propeller Depan*

	J	rps	Propeller Depan							
			F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
LR3P05P09	0,1	12,85	1630740,6	4230569,0	5861309,6	7415,3	7373,7	14789,0	5417,9	3353,6
	0,2	6,425	2433223,8	2427548,9	4860772,7	7586,0	8560,0	16146,0	4491,6	2786,5
	0,4	3,213	605693,7	723730,7	1329424,4	1534,3	2121,1	3655,3	1228,7	761,1
	0,5	2,57	208631,7	280833,4	489465,1	354,2	375,0	729,2	452,6	279,3
	0,6	2,142	332243,4	324400,4	656643,8	256,8	348,7	605,5	607,4	374,2
	0,7	1,836	306016,4	349763,4	655779,8	239,5	374,3	613,8	606,6	373,8
	0,8	1,606	357355,8	354876,9	712232,7	418,7	322,6	741,2	658,7	406,0
	1,0	1,285	351086,4	362376,7	713463,1	302,3	322,3	624,5	659,9	406,6
	1,2	1,071	408555,9	433624,8	842180,7	281,4	367,5	648,9	779,0	479,8
	1,4	0,918	326635,7	361354,0	687989,7	156,7	262,5	419,2	636,4	391,8

Tabel 4.4.3.19 Model LR3P05P09 *Propeller Belakang*

Propeller Belakang								Resultan	
F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)	T (kN)	Q (kNm)
409949,1	745644,6	1155593,7	6373,9	4529,8	10903,7	1124,3	400,6	6542,1	3754,1
332522,0	398063,7	730585,7	8832,9	10250,1	19082,9	708,1	271,1	5199,6	3057,6
82129,1	149026,6	231155,7	4385,1	3547,4	7932,5	223,6	88,5	1452,3	849,6
86273,9	119248,6	205522,5	965,8	984,4	1950,3	200,0	71,3	652,6	350,6
88955,8	118429,9	207385,7	836,3	888,6	1724,8	201,8	71,6	809,2	445,8
82965,1	114439,1	197404,1	1004,8	939,7	1944,6	192,0	68,5	798,6	442,3
55588,7	87799,1	143387,8	1846,3	1161,4	3007,8	139,1	52,1	797,9	458,2
55797,7	88379,0	144176,7	1595,9	1124,6	2720,5	140,0	52,0	799,9	458,5
83034,7	107582,9	190617,7	923,0	850,0	1773,0	185,5	66,0	964,5	545,8
84358,3	110243,5	194601,8	853,7	866,7	1720,4	189,4	67,3	825,8	459,1

Tabel pada 4.4.3.19 - 20 merupakan hasil perhitungan dengan cara langkah-langkah pada sub-bab 4.4.2. Perhitungan dilakukan pada model LR3P05P09 dengan sudut *pitch* masing – masing *propeller* bagian depan dan belakang bernilai $12,82^{\circ}$ dan $22,28^{\circ}$. Dalam tabel tersebut menjelaskan nilai – nilai seperti *thrust* dan *torque* dari putaran *propeller* 12,85 – 0,918 rps.

Tabel 4.4.3.20 Model LR3P05P12 *Propeller Depan*

	J	rps	Propeller Depan						Resultan	
			F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
LR3P05P12	0,1	12,85	1262914,5	1363164,5	2626079,0	19898,8	14522,6	34421,4	2287,9	1933,3
	0,2	6,425	2428786,5	1868386,3	4297172,8	10269,5	8118,9	18388,4	3762,0	3113,7
	0,4	3,213	707559,0	612005,8	1319564,8	2352,5	1701,2	4053,7	1156,0	954,0
	0,5	2,57	375231,0	364400,4	739631,4	612,9	471,5	1084,4	648,5	533,2
	0,6	2,142	333996,5	290586,0	624582,4	315,7	302,0	617,7	547,8	449,9
	0,7	1,836	340329,8	356391,6	696721,4	449,5	357,1	806,5	611,0	502,0
	0,8	1,606	428008,5	411452,1	839460,6	803,2	615,0	1418,2	735,9	605,4
	1,0	1,285	384084,0	371408,1	755492,1	511,8	406,4	918,2	662,5	544,4
	1,2	1,071	362632,5	358727,5	721360,0	278,0	218,7	496,6	632,8	519,3
	1,4	0,918	333145,2	345379,5	678524,7	245,0	232,7	477,7	595,2	488,5

Tabel 4.4.3.21 Model LR3P05P12 *Propeller Belakang*

Propeller Belakang								Resultan	
F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)	T (kN)	Q (kNm)
501556,5	381990,6	883547,1	7409,3	10417,0	17826,3	857,5	320,2	3145,4	2253,5
310229,6	264853,5	575083,1	8515,9	12342,0	20857,9	556,1	221,9	4318,0	3335,6
104499,5	99123,7	203623,2	3823,8	4762,4	8586,2	196,6	80,3	1352,6	1034,4
87508,5	91169,8	178678,3	1101,5	1229,9	2331,4	173,7	62,9	822,2	596,1
86214,6	89097,7	175312,3	898,9	1076,8	1975,7	170,5	61,2	718,3	511,1
82264,8	85555,2	167820,0	1004,5	1039,4	2043,8	163,2	58,8	774,2	560,8
61392,2	61091,8	122483,9	1663,0	2071,0	3734,0	118,6	46,2	854,5	651,6
57340,2	56513,2	113853,4	1403,2	1685,4	3088,6	110,3	42,4	772,8	586,8
77736,2	71418,5	149154,7	883,6	1296,7	2180,3	144,9	52,8	777,7	572,1
80664,5	83316,1	163980,5	901,6	933,8	1835,4	159,5	57,3	754,7	545,7

Tabel pada 4.4.3.21 - 22 merupakan hasil perhitungan dengan cara langkah-langkah pada sub-bab 4.4.2. Perhitungan dilakukan pada model LR3P05P12 dengan sudut *pitch* masing – masing *propeller* bagian depan dan belakang bernilai $12,82^{\circ}$ dan $28,65^{\circ}$. Dalam tabel tersebut menjelaskan nilai – nilai seperti *thrust* dan *torque* dari putaran *propeller* 12,85 – 0,918 rps.

Tabel 4.4.3.22 Model LR4P05P05 *Propeller* Depan

LR4P05P05	J	rps	Propeller Depan							
			F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
	0,1	12,85	3885840,0	23357120,0	27242960,0	10154,1	15096,4	25250,5	26556,3	9104,7
	0,2	6,425	1981855,5	5538480,0	7520335,5	5979,1	3197,1	9176,2	7330,3	2516,6
	0,4	3,213	454890,0	961056,0	1415946,0	940,6	582,8	1523,4	1380,2	473,5
	0,5	2,57	479562,0	1067088,0	1546650,0	797,2	362,0	1159,2	1507,7	516,5
	0,6	2,142	513100,5	980984,0	1494084,5	740,5	322,6	1063,2	1456,5	498,9
	0,7	1,836	431374,5	911800,0	1343174,5	662,3	351,3	1013,6	1309,4	448,6
	0,8	1,606	567070,5	689960,0	1257030,5	438,7	552,0	990,7	1225,4	419,9
	1,0	1,285	321815,4	639576,0	961391,4	227,0	185,6	412,7	937,3	320,6
	1,2	1,071	370581,2	870064,0	1240645,2	315,6	1018,6	1334,2	1209,3	414,9
	1,4	0,918	309980,6	571144,0	881124,6	146,0	281,1	427,2	859,0	293,9

Tabel 4.4.3.23 Model LR4P05P05 *Propeller* Belakang

Propeller Belakang								Resultan	
F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)	T (kN)	Q (kNm)
1245550,5	488294,1	1733844,6	4525,8	9104,3	13630,1	1687,5	597,0	28243,8	9701,8
471081,0	210052,9	681133,9	3052,8	2983,1	6035,9	662,8	235,5	7993,1	2752,1
232302,3	90930,2	323232,5	946,0	1007,0	1953,1	314,7	110,4	1694,9	584,0
229141,2	96869,4	326010,6	829,2	790,1	1619,4	317,5	110,9	1825,2	627,4
183575,1	48791,8	232366,9	947,6	1186,3	2133,9	226,1	80,5	1682,6	579,3
202580,3	87321,6	289901,8	818,8	657,4	1476,3	282,3	98,7	1591,7	547,2
193443,9	73601,2	267045,1	864,3	699,2	1563,5	260,0	91,2	1485,4	511,0
130684,5	-4311,6	126372,9	542,8	800,3	1343,1	122,9	44,0	1060,2	364,6
176289,2	71233,1	247522,2	805,3	459,3	1264,7	241,1	84,2	1450,4	499,1
114416,4	33522,8	147939,2	737,8	262,1	999,9	144,0	50,7	1003,0	344,6

Tabel pada 4.4.3.23 - 24 merupakan hasil perhitungan dengan cara langkah-langkah pada sub-bab 4.4.2. Perhitungan dilakukan pada model LR4P05P05 dengan sudut *pitch* masing – masing *propeller* bagian depan dan belakang bernilai $12,82^{\circ}$ dan $12,82^{\circ}$. Dalam tabel tersebut menjelaskan nilai – nilai seperti *thrust* dan *torque* dari putaran *propeller* 12,85 – 0,918 rps.

Tabel 4.4.3.24 Model LR4P05P07 *Propeller Depan*

LR4P05P07	J	rps	Propeller Depan							
			F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
	0,1	12,85	4836770,0	2837672,0	7674442,0	22650,0	8877,4	31527,3	7301,9	3540,0
	0,2	6,425	1320765,8	1140408,0	2461173,8	7372,7	7132,7	14505,4	2340,4	1141,5
	0,4	3,213	400430,6	164688,0	565118,6	377,2	2874,9	3252,1	537,4	262,0
	0,5	2,57	358691,8	676048,0	1034739,8	661,0	888,5	1549,4	985,3	473,4
	0,6	2,142	403128,4	645968,0	1049096,4	557,3	1046,0	1603,3	999,0	480,0
	0,7	1,836	331405,5	630176,0	961581,5	497,9	714,4	1212,3	915,7	439,6
	0,8	1,606	473656,6	359982,4	833639,0	438,2	1790,5	2228,7	793,5	382,8
	1,0	1,285	552663,6	406832,0	959495,6	449,4	1734,1	2183,5	913,4	440,1
	1,2	1,071	334373,0	519632,0	854005,0	232,0	756,5	988,5	813,3	390,3
	1,4	0,918	284194,0	300762,4	584956,4	38,9	454,2	493,1	557,1	267,1

Tabel 4.4.3.25 Model LR4P05P07 *Propeller Belakang*

Propeller Belakang									Resultan	
F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)		T (kN)	Q (kNm)
1341962,8	456718,5	1798681,3	23894,8	12551,3	36446,1	1745,6	652,0		9047,5	4192,0
426637,8	195919,1	622556,9	3341,0	3935,7	7276,7	605,4	217,9		2945,7	1359,4
219061,4	73450,9	292512,2	1054,1	1101,8	2155,8	284,7	100,5		822,1	362,5
206073,4	83337,0	289410,4	830,2	948,4	1778,5	281,8	98,9		1267,1	572,4
173699,8	38341,8	212041,6	1004,7	1154,8	2159,5	206,3	73,7		1205,2	553,8
185724,3	72849,4	258573,7	820,5	704,1	1524,6	251,8	88,3		1167,5	527,9
183951,4	63790,2	247741,7	869,8	649,9	1519,8	241,2	84,7		1034,7	467,5
178324,6	63076,0	241400,6	864,8	570,2	1435,1	235,0	82,4		1148,5	522,5
163872,1	58151,7	222023,8	806,3	450,3	1256,6	216,2	75,7		1029,5	466,1
112035,8	30959,1	142994,9	746,1	380,4	1126,5	139,2	49,2		696,3	316,3

Tabel pada 4.4.3.25 - 26 merupakan hasil perhitungan dengan cara langkah-langkah pada sub-bab 4.4.2. Perhitungan dilakukan pada model LR4P05P07 dengan sudut *pitch* masing – masing *propeller* bagian depan dan belakang bernilai $12,82^{\circ}$ dan $17,67^{\circ}$. Dalam tabel tersebut menjelaskan nilai – nilai seperti *thrust* dan *torque* dari putaran *propeller* 12,85 – 0,918 rps.

Tabel 4.4.3.26 Model LR4P05P09 *Propeller Depan*

LR4P05P09	J	rps	Propeller Depan							
			F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
	0,1	12,85	3647139,0	7143316,0	10790455,0	14953,1	15166,7	30119,8	9973,0	6177,8
	0,2	6,425	1559194,2	2507127,9	4066322,1	5092,1	3458,7	8550,8	3759,3	2324,2
	0,4	3,213	501317,2	637324,6	1138641,8	597,9	809,7	1407,6	1053,1	649,4
	0,5	2,57	521986,2	584519,8	1106506,0	1668,6	1048,4	2716,9	1022,8	633,0
	0,6	2,142	637732,6	601754,7	1239487,3	1016,2	739,3	1755,4	1146,2	707,3
	0,7	1,836	437431,2	542716,0	980147,2	1016,9	803,1	1820,0	906,2	559,9
	0,8	1,606	495680,2	515946,9	1011627,1	402,5	412,5	815,0	935,7	576,4
	1,0	1,285	514846,0	519247,2	1034093,2	397,6	370,7	768,3	956,6	589,1
	1,2	1,071	427660,4	533548,5	961208,9	395,7	583,4	979,1	889,0	548,0
	1,4	0,918	377679,0	464242,2	841921,2	345,2	412,9	758,1	778,7	479,8

Tabel 4.4.3.27 Model LR4P05P09 Propeller Belakang

Propeller Belakang								Resultan	
F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)	T (kN)	Q (kNm)
1272834,6	452017,8	1724852,4	24351,8	12006,2	36358,0	1673,7	627,3	11646,7	6805,1
366780,8	154411,9	521192,7	3131,2	3215,1	6346,2	506,8	182,8	4266,1	2506,9
196693,7	65218,1	261911,9	1103,7	1113,7	2217,5	254,9	90,4	1307,9	739,9
190230,0	69617,3	259847,3	779,0	967,1	1746,1	253,0	89,0	1275,8	722,0
156746,2	24613,5	181359,7	1011,7	1125,1	2136,7	176,4	63,5	1322,6	770,8
165314,4	53340,3	218654,7	773,4	619,2	1392,6	212,9	74,8	1119,1	634,7
162871,7	53377,0	216248,7	809,8	648,1	1458,0	210,5	74,1	1146,3	650,5
158512,4	53450,3	211962,7	802,7	596,1	1398,8	206,4	72,6	1162,9	661,7
149493,2	47548,0	197041,3	765,5	421,2	1186,7	191,9	67,3	1080,9	615,3
103457,7	26721,5	130179,2	706,9	339,0	1045,8	126,7	44,9	905,4	524,7

Tabel pada 4.4.3.27 - 28 merupakan hasil perhitungan dengan cara langkah-langkah pada sub-bab 4.4.2. Perhitungan dilakukan pada model LR4P05P09 dengan sudut *pitch* masing – masing *propeller* bagian depan dan belakang bernilai $12,82^{\circ}$ dan $22,28^{\circ}$. Dalam tabel tersebut menjelaskan nilai – nilai seperti *thrust* dan *torque* dari putaran *propeller* 12,85 – 0,918 rps.

Tabel 4.4.3.28 Model LR4P05P12 Propeller Depan

	J	rps	Propeller Depan							
			F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)
LR4P05P12	0,1	12,85	5080334,0	9270872,0	14351206,0	15926,4	18424,1	34350,5	12576,7	10363,0
	0,2	6,425	1794499,0	1981364,0	3775863,0	4180,3	3631,9	7812,1	3309,6	2724,9
	0,4	3,213	624779,4	596614,8	1221394,2	1063,1	763,1	1826,3	1070,9	880,5
	0,5	2,57	619883,6	531917,2	1151800,8	1747,4	1124,1	2871,5	1009,3	831,9
	0,6	2,142	710644,2	503612,0	1214256,2	1231,5	778,2	2009,7	1064,5	875,6
	0,7	1,836	560004,2	597717,6	1157721,8	678,6	536,0	1214,6	1015,3	833,9
	0,8	1,606	519331,4	448839,6	968171,0	580,7	426,8	1007,5	849,1	697,4
	1,0	1,285	520461,2	455088,8	975550,0	542,7	379,4	922,0	855,6	702,6
	1,2	1,071	517071,8	477144,8	994216,6	688,0	522,7	1210,8	871,8	716,4
	1,4	0,918	440998,6	394067,2	835065,8	462,8	323,6	786,4	732,4	601,4

Tabel 4.4.3.29 Model LR4P05P12 Propeller Belakang

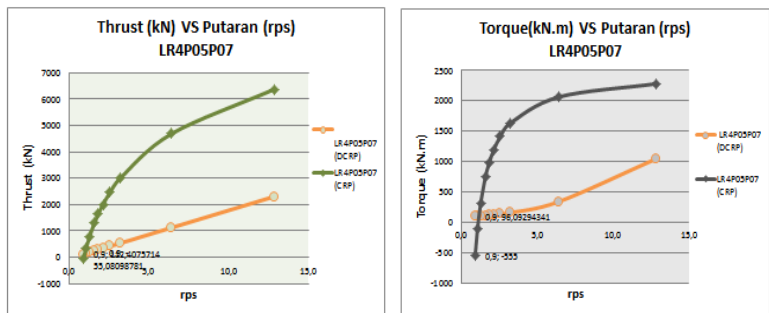
Propeller Belakang							Resultan		
F Face	F Back	F lift	F face	F back	F drag	T (kN)	Q (kNm)	T (kN)	Q (kNm)
949785,2	203115,1	1152900,3	5935,2	12878,5	18813,7	1119,9	411,3	13696,6	10774,3
376976,6	164281,6	541258,2	3184,9	3799,0	6983,9	526,2	190,4	3835,8	2915,3
200351,2	54455,0	254806,2	1061,6	969,2	2030,8	248,0	87,8	1318,9	968,3
195229,4	62412,3	257641,8	862,4	1031,2	1893,6	250,8	88,5	1260,1	920,4
157870,7	18892,4	176763,1	1123,4	1110,0	2233,4	171,8	62,1	1236,4	937,7
157908,4	51338,0	209246,4	1286,5	663,0	1949,5	203,6	72,5	1218,9	906,4
164423,6	48367,7	212791,3	910,2	652,7	1563,0	207,1	73,1	1056,2	770,5
160281,0	49761,2	210042,2	896,7	617,9	1514,6	204,5	72,1	1060,1	774,7
151393,2	41657,1	193050,3	854,5	412,2	1266,7	187,9	66,1	1059,8	782,5
104318,2	25441,6	129759,8	792,7	248,3	1041,1	126,3	44,7	858,7	646,1

Tabel pada 4.4.3.21 - 22 merupakan hasil perhitungan dengan cara langkah-langkah pada sub-bab 4.4.2. Perhitungan dilakukan pada model LR4P05P12 dengan sudut *pitch* masing – masing *propeller* bagian depan dan belakang bernilai $12,82^{\circ}$ dan $28,65^{\circ}$. Dalam tabel tersebut menjelaskan nilai – nilai seperti *thrust* dan *torque* dari putaran *propeller* 12,85 – 0,918 rps.

4.5 Pembahasan

Data-data yang dianalisa pada subbab sebelumnya kemudian akan diplotkan dalam bentuk grafik sehingga dapat disimpulkan karakteristik dari masing – masing model.

4.5.1 Perbandingan *contra rotating propeller* dengan penambahan *kort nozzle* berdasarkan putaran *propeller*

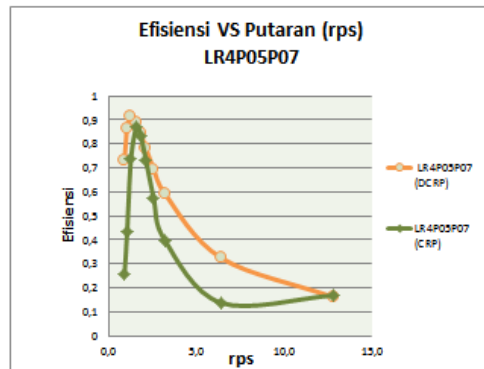


(a) Thrust Vs Putaran

(b) Torque Vs Putaran

Gambar 4.5.1.12 Perbandingan *thrust* dan *torque* terhadap Putaran *propeller*

Pada grafik 4.5.1.11 menjelaskan bahwa *thrust* dan *torque* yang dihasilkan *propeller* jenis *ducted contra rotating* berbanding lurus linier dengan putaran *propeller*, sedangkan pada *propeller* tanpa menggunakan *kort nozzle* mengalami kenaikan atau berbanding lurus linier dengan putaran *propeller* pada kondisi putaran 0,9 – 3,2 rps atau 54 – 288 rpm. Berdasarkan grafik diatas nilai *thrust* dan *torque* *contra rotating* lebih tinggi dibandingkan dengan dengan *ducted contra rotating*.

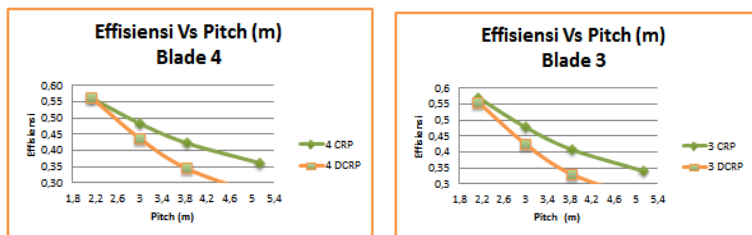


Gambar 4.5.1.13 Grafik K-T-J DCRP dan CRP pada model LR4P05P07

Berdasarkan grafik 4.5.1.12 nilai efisiensi ducted contra rotating lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa menggunakan kort nozzle. Besar kenaikan efisiensi dibandingkan dengan menambah kort nozzle sebesar 32%.

4.5.2 Perbandingan *contra rotating propeller* dengan penambahan *kort nozzle* berdasarkan variasi *pitch*

Pada sub bab 4.5.1 ini menjelaskan hubungan efisiensi, *thrust* dan *torque* terhadap *pitch propeller* yang terdapat pada *propeller contra rotating* dan *ducted contra rotating*.



Gambar 4.5.2.14 Grafik Hubungan Efisiensi dengan *Pitch* pada *blade* 3 dan 4

Grafik diatas adalah perbandingan antara *contra rotating propeller* (CRP) dengan *ducted contra rotating propeller*

(DCRP). Berdasarkan grafik diatas bahwa nilai efisiensi pada *blade* 3 dan 4 mengalami penurunan dengan bertambahnya nilai *pitch*. Jenis kedua *propeller* tersebut memiliki nilai efisiensi terbesar terletak pada jenis *contra rotating propeller*.

Pada *blade* 3 nilai efisiensi terbesar terjadi ketika *propeller* yang dibelakang terpasang dengan *pitch* 2,14 m yaitu sebesar 56,0%, sedangkan nilai efisiensi terkecil terjadi pada *pitch* 5,14 m yaitu 34%.

Pada *blade* 4 nilai efisiensi terbesar terjadi ketika *propeller* yang dibelakang terpasang dengan *pitch* 2,14 m yaitu sebesar 56,1%, sedangkan nilai efisiensi terkecil terjadi pada *pitch* 5,14 m yaitu 26,3%.

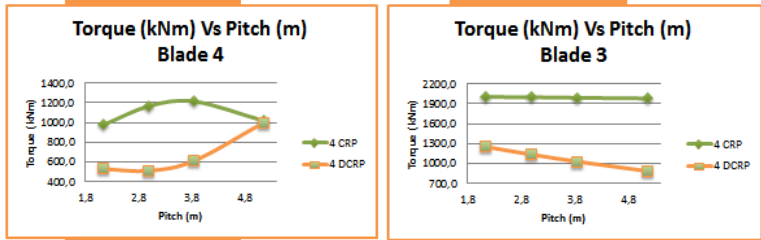


Gambar 4.5.2.15 Grafik Hubungan *Thrust* dengan *Pitch* pada *blade* 3 dan 4

Grafik diatas adalah perbandingan antara *contra rotating propeller* (CRP) dengan *ducted contra rotating propeller* (DCRP). Berdasarkan grafik diatas bahwa nilai *thrust* pada *blade* 3 dan 4 mengalami penurunan dengan bertambahnya nilai *pitch*. Jenis kedua *propeller* tersebut memiliki nilai *thrust* terbesar terletak pada jenis *contra rotating propeller*.

Pada *blade* 3 nilai *thrust* terbesar terjadi ketika *propeller* yang dibelakang terpasang dengan *pitch* 2,14 m yaitu sebesar 5479,4 kN, sedangkan nilai *thrust* terkecil terjadi pada *pitch* 5,14 m yaitu 3250,4 kN.

Pada *blade* 4 nilai *thrust* terbesar terjadi ketika *propeller* yang dibelakang terpasang dengan *pitch* 2,14 m yaitu sebesar 2520,8 kN, sedangkan nilai *thrust* terkecil terjadi pada *pitch* 5,14 m yaitu 2000,5 kN.



Gambar 4.5.2.16 Grafik Hubungan *Torque* dengan *Pitch* pada *blade* 3 dan 4

Grafik diatas adalah perbandingan antara *contra rotating propeller* (CRP) dengan *ducted contra rotating propeller* (DCRP). Berdasarkan grafik diatas bahwa nilai *torque* pada *blade* 3 dan 4 mengalami kenaikan yang tidak konstan dengan bertambahnya nilai *pitch*. Jenis kedua *propeller* tersebut memiliki nilai *torque* terbesar terletak pada jenis *contra rotating propeller*.

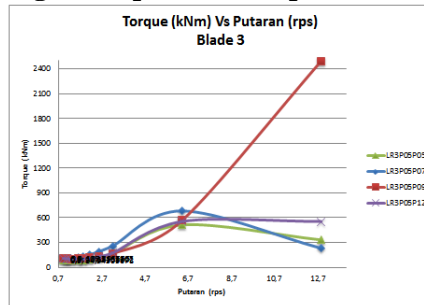
Pada *blade* 3 nilai *torque* terbesar terjadi ketika *propeller* yang dibelakang terpasang dengan *pitch* 3,85 m yaitu sebesar 2323,8 kNm, sedangkan nilai *torque* terkecil terjadi pada *pitch* 2,14 m yaitu 1900,1 kN.

Pada *blade* 4 nilai *torque* terbesar terjadi ketika *propeller* yang dibelakang terpasang dengan *pitch* 3,0 m yaitu sebesar 1459,4 kNm, sedangkan nilai *torque* terkecil terjadi pada *pitch* 2,14 m yaitu 873,4 kNm.

4.5.3 Hubungan *Torque* dan *Thrust* pada Variasi *Pitch*

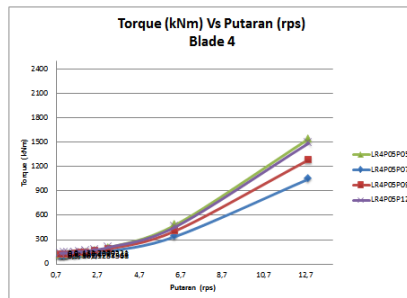
Pada sub bab 4.5.3 ini menjelaskan hubungan *thrust* dan *torque* terhadap putaran *propeller* (rps) yang terdapat pada jenis *propeller ducted contra rotating*.

➤ Hubungan *Torque* Terhadap Putaran *Propeller*



Gambar 4.5.3.17 Garfik Hubungan *Torque* dengan Putaran pada *Blade 3*

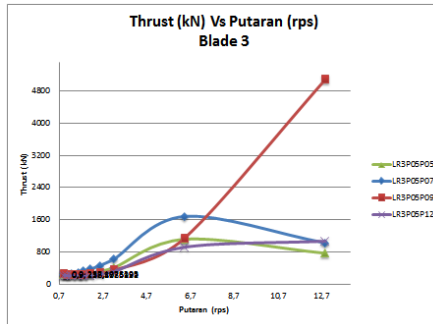
Berdasarkan grafik diatas bahwa nilai *torque* terbesar pada *blade 3* terjadi pada model LR3P05P09 ketika putaran 12,9 rps yaitu 3754,1 kNm. Sedangkan nilai *torque* terendah terjadi pada model LR3P05P07 ketika putaran *propeller* 0,9 rps yaitu 427,8 kNm.



Gambar 4.5.3.18 Grafik Hubungan *Torque* dengan Putaran pada *Blade 4*

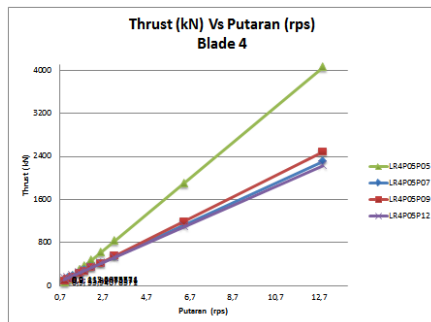
Berdasarkan grafik diatas bahwa nilai *torque* terbesar pada *blade* 4 terjadi pada model LR3P05P05 ketika putaran 12,9 rps yaitu 9701,8 kNm. Sedangkan nilai *torque* terendah terjadi pada model LR3P05P07 ketika putaran *propeller* 0,9 rps yaitu 316,3 kNm.

➤ Hubungan *Thrust* Terhadap Putaran *Propeller*



Gambar 4.5.3.19 Grafik Hubungan *Thrust* dengan Putaran pada *Blade* 3

Berdasarkan grafik diatas bahwa nilai *thrust* terbesar pada *blade* 3 terjadi pada model LR3P05P09 ketika putaran 12,9 rps yaitu 6542,1 kN. Sedangkan nilai *thrust* terendah terjadi pada model LR3P05P12 ketika putaran *propeller* 0,9 rps yaitu 754,7 kN.



Gambar 4.5.3.20 Grafik Hubungan *Thrust* dengan Putaran pada *Blade* 4

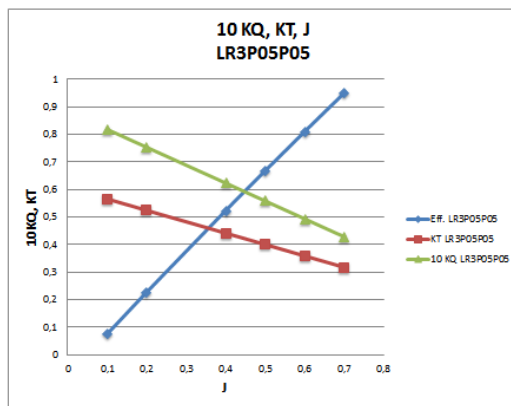
Berdasarkan grafik diatas bahwa nilai *thrust* terbesar pada *blade* 4 terjadi pada model LR3P05P05 ketika putaran 12,9 rps yaitu 2824,3 kN. Sedangkan nilai *thrust* terendah terjadi pada model LR3P05P12 ketika putaran *propeller* 0,9 rps yaitu 858,7 kN.

4.5.4 Grafik K-T-J

Data hasil simulasi yang sudah dilakukan perhitungan dapat ditampilkan sebagai berikut dalam bentuk grafik K-T-J.

Tabel 4.5.4.30 K-T-J LR3P05P05

LR3P05P05	J	η	KT	KQ
	0,1	0,076	0,566	0,818
	0,2	0,227	0,524	0,753
	0,4	0,523	0,442	0,624
	0,5	0,668	0,401	0,559
	0,6	0,810	0,359	0,494
	0,7	0,950	0,318	0,429

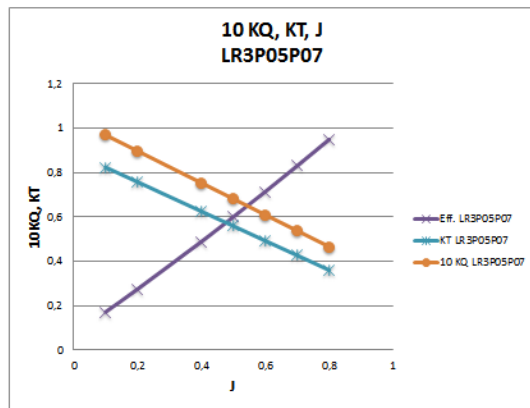


Gambar 4.5.4.21 Grafik K-T-J LR3P05P05

Pada grafik K-T-J LR3P05P05 terlihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada J 0,7 sebesar 0,95. Untuk garis 10 KQ dan KT masing-masing memiliki persamaan $y = -0,6492x + 0,8832$ dan $y = -0,4129x + 0,607$.

Tabel 4.5.4.31 K-T-J LR3P05P07

LR3P05P07	J	η	KT	KQ
	0,1	0,172	0,824	0,969
	0,2	0,275	0,758	0,897
	0,4	0,489	0,625	0,754
	0,5	0,601	0,559	0,682
	0,6	0,714	0,493	0,610
	0,7	0,831	0,427	0,538
	0,8	0,950	0,361	0,466

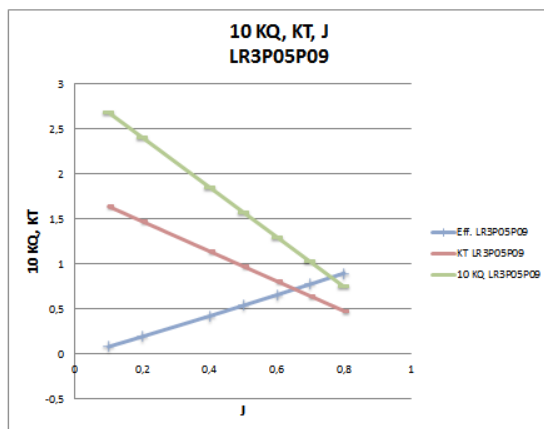


Gambar 4.5.4.22 Grafik K-T-J LR3P05P07

Pada grafik K-T-J LR3P05P07 terlihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada J 0,8 sebesar 0,95. Untuk garis 10 KQ dan KT masing-masing memiliki persamaan $y = -0,7186x + 1,041$ dan $y = -0,6615x + 0,89$.

Tabel 4.5.4.32 K-T-J LR3P05P09

LR3P05P09	J	η	KT	KQ
	0,1	0,085	1,642	2,685
	0,2	0,197	1,476	2,408
	0,4	0,425	1,144	1,856
	0,5	0,542	0,979	1,579
	0,6	0,660	0,813	1,303
	0,7	0,779	0,647	1,027
	0,8	0,901	0,481	0,751

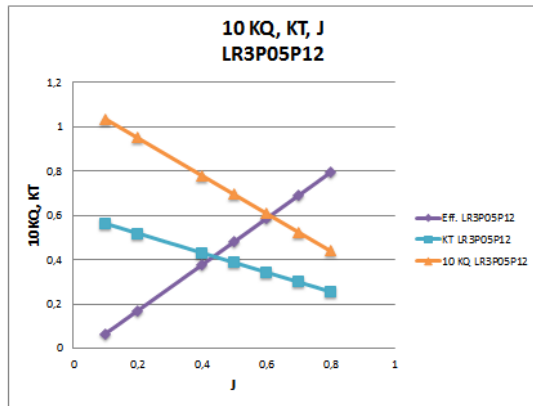


Gambar 4.5.4.23 Grafik K-T-J LR3P05P09

Pada grafik K-T-J LR3P05P09 terlihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada J 0,8 sebesar 0,90. Untuk garis 10 KQ dan KT masing-masing memiliki persamaan $y = -2,7631x + 2,961$ dan $y = -1,6588x + 1,8079$.

Tabel 4.5.4.33 K-T-J LR3P05P12

LR3P05P12	J	η	KT	KQ
	0,1	0,067	0,564	1,035
	0,2	0,170	0,520	0,950
	0,4	0,377	0,432	0,780
	0,5	0,481	0,388	0,695
	0,6	0,585	0,344	0,610
	0,7	0,690	0,300	0,525
	0,8	0,794	0,256	0,440

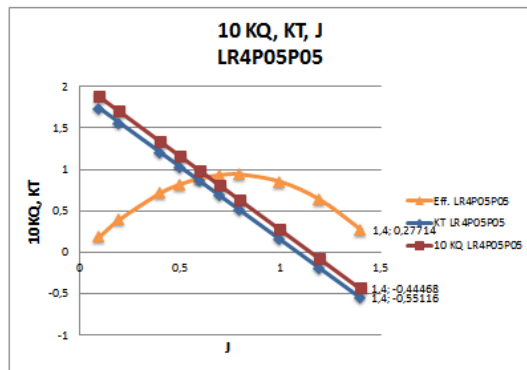


Gambar 4.5.4.24 Grafik K-T-J LR3P05P12

Pada grafik K-T-J LR3P05P12 terlihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada J 0,8 sebesar 0,79. Untuk garis 10 KQ dan KT masing-masing memiliki persamaan $y = -0,8506x + 1,12$ dan $y = -0,4394x + 0,6075$.

Tabel 4.5.4.34 K-T-J LR4P05P05

LR4P05P05	J	η	KT	KQ
	0,1	0,190	1,737	1,872
	0,2	0,398	1,561	1,693
	0,4	0,712	1,209	1,337
	0,5	0,819	1,033	1,159
	0,6	0,893	0,857	0,981
	0,7	0,933	0,681	0,803
	0,8	0,939	0,505	0,624
	1	0,853	0,153	0,268
	1,2	0,632	-0,199	-0,088
	1,4	0,277	-0,551	-0,445

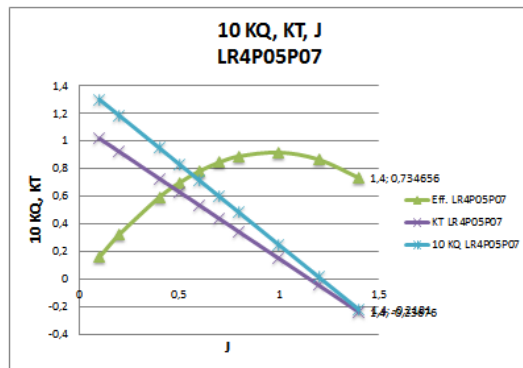


Gambar 4.5.4.25 Grafik K-T-J LR4P05P05

Pada grafik K-T-J LR4P05P05 terlihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada J 0,8 sebesar 0,989. Untuk garis 10 KQ dan KT masing-masing memiliki persamaan $y = -1,7817x + 2,0497$ dan $y = -1,7599x + 1,9127$.

Tabel 4.5.4.35 K-T-J LR4P05P07

LR4P05P07	J	η	KT	KQ
	0,1	0,161	1,018	1,301
	0,2	0,325	0,922	1,184
	0,4	0,593	0,729	0,950
	0,5	0,697	0,632	0,834
	0,6	0,781	0,536	0,717
	0,7	0,845	0,439	0,600
	0,8	0,889	0,342	0,483
	1	0,918	0,149	0,249
	1,2	0,866	-0,044	0,016
	1,4	0,735	-0,237	-0,218

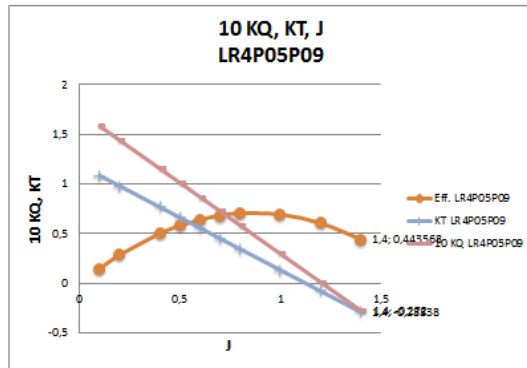


Gambar 2.5.4.26 Grafik K-T-J LR4P05P07

Pada grafik K-T-J LR4P05P07 terlihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada J 1,0 sebesar 0,918. Untuk garis 10 KQ dan KT masing-masing memiliki persamaan $y = -1,1685x + 1,4178$ dan $y = -0,9654x + 1,1148$.

Tabel 4.5.4.36 K-T-J LR4P05P09

LR4P05P09	J	η	KT	KQ
	0,1	0,149	1,085	1,582
	0,2	0,285	0,979	1,440
	0,4	0,501	0,768	1,155
	0,5	0,580	0,662	1,012
	0,6	0,641	0,557	0,869
	0,7	0,682	0,451	0,727
	0,8	0,705	0,345	0,584
	1	0,693	0,134	0,299
	1,2	0,606	-0,077	0,013
	1,4	0,444	-0,288	-0,272

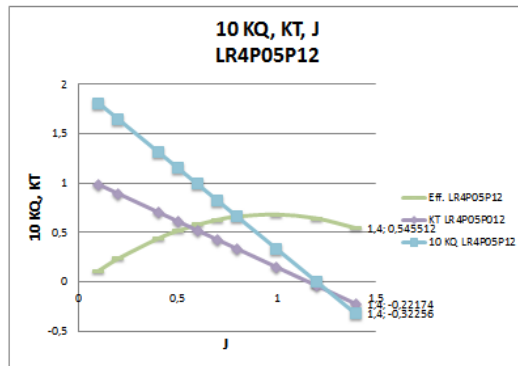


Gambar 4.5.4.27 Grafik K-T-J LR4P05P09

Pada grafik K-T-J LR4P05P09 terlihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada J 0,8 sebesar 0,705. Untuk garis 10 KQ dan KT masing-masing memiliki persamaan $y = -1,4265x + 1,7251$ dan $y = -1,0562x + 1,1903$.

Tabel 4.5.4.37 K-T-J LR4P05P12

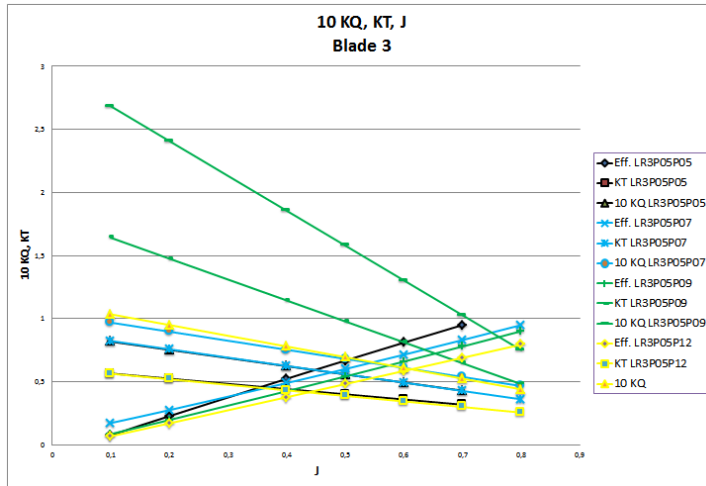
LR4P05P12	J	η	KT	KQ
	0,1	0,113	0,986	1,810
	0,2	0,237	0,893	1,646
	0,4	0,439	0,707	1,318
	0,5	0,517	0,614	1,154
	0,6	0,580	0,522	0,990
	0,7	0,629	0,429	0,826
	0,8	0,662	0,336	0,662
	1	0,683	0,150	0,334
	1,2	0,644	-0,036	0,006
	1,4	0,546	-0,222	-0,323



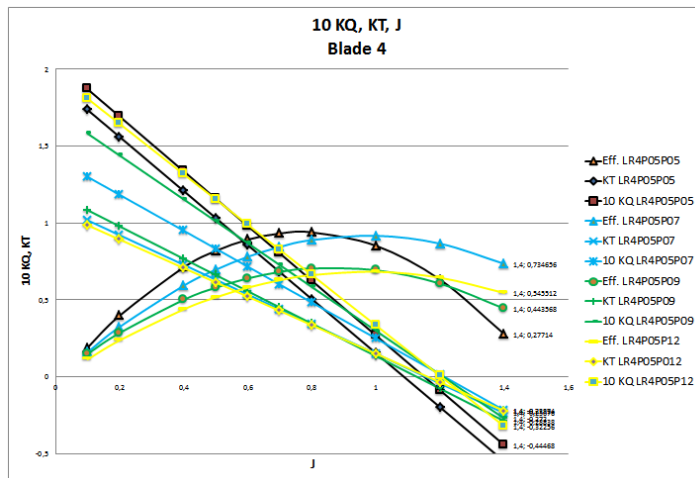
Gambar 4.5.4.28 Grafik K-T-J LR4P05P12

Pada grafik K-T-J LR4P05P12 terlihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terdapat pada J 1,0 sebesar 0,683. Untuk garis 10 KQ dan KT masing-masing memiliki persamaan $y = -1,6404x + 1,974$ dan $y = -0,9291x + 1,079$.

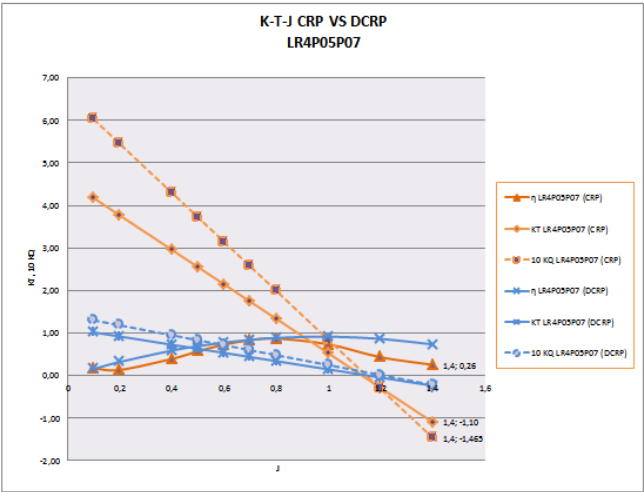
LAMPIRAN



Grafik 1. K-T-J blade 3 DCRP



Grafik 2. K-T-J blade 4 DCRP



Grafik 3. Perbandingan K-T-J DCRP vs CRP type LR4P05P07

Tabel 1. Hasil running atau data model LR3P05P05

JENIS	J	Propeller Depan				Propeelr Belakang			
		P1 Face (Pa)	P1 Back (Pa)	WS1 Face (Pa)	WS1 Back (Pa)	P2 Face (Pa)	P2 Back (Pa)	WS2 Face	WS2 Back
LR3P05P05	J 01	266800	186800	2484	1745	523700	1234000	3841	4509
	J 02	618800	675900	3703	3464	841400	919500	4503	3410
	J 04	229100	237300	1040	1085	380100	397600	1698	1191
	J 05	100100	117100	136	169,9	297900	329900	140,9	220,5
	J 06	83580	110000	131,9	138,4	301700	325900	133,5	215,1
	J 07	1111000	135200	182,4	229,2	291100	321900	130,1	199
	J 08	123200	118200	296,1	186,4	226800	242100	574,2	366,1
	J 1.0	106800	103600	154,3	67,14	210700	237600	435,6	239
	J 1.2	109500	114200	55,13	75,24	196200	213700	131,8	129,3
	J 1.4	112800	115800	77,31	77,21	204800	220100	77,94	123,4

Tabel 2. Hasil running atau data model LR3P05P07

JENIS	J	Propeller Depan				Propeelr Belakang			
		P1 Face (Pa)	P1 Back (Pa)	WS1 Face (Pa)	WS1 Back (Pa)	P2 Face (Pa)	P2 Back (Pa)	WS2 Face	WS2 Back
LR3P05P07	J 01	61830	85060	2517	4419	1755000	-5042000	2791	12160
	J 02	1007000	640600	3121	2571	3944000	61000	5096	1877
	J 04	298900	227800	828,5	728,6	1336000	63160	1712	593,1
	J 05	85100	84330	81,58	189,1	411100	126500	236,7	189,1
	J 06	123200	102900	91,35	115,1	386900	130200	211,8	96,94
	J 07	94560	100600	56,65	146,4	392400	115700	243,1	110,8
	J 08	137800	132500	187,9	256,1	544500	97680	553,5	209,3
	J 1.0	119000	116700	117,1	164,4	432900	95010	374	140,9
	J 1.2	134100	116300	86,13	123,2	352200	128000	294,6	101,6
	J 1.4	114200	124800	43,71	135	368300	129500	247,9	110,6

Tabel 3. Hasil running atau data model LR3P05P09

JENIS	J	Propeller Depan				Propeelr Belakang			
		P1 Face (Pa)	P1 Back (Pa)	WS1 Face (Pa)	WS1 Back (Pa)	P2 Face (Pa)	P2 Back (Pa)	WS2 Face	WS2 Back
LR3P05P09	J 01	468200	1241000	2129	2163	1177000	2186000	1830	1328
	J 02	698600	712100	2178	2511	954700	1167000	2536	3005
	J 04	173900	212300	440,5	622,2	235800	436900	1259	1040
	J 05	59900	82380	101,7	110	247700	349600	277,3	288,6
	J 06	95390	95160	73,72	102,3	255400	347200	240,1	260,5
	J 07	87860	102600	68,77	109,8	238200	335500	288,5	275,5
	J 08	102600	104100	120,2	94,62	159600	257400	530,1	340,5
	J 1.0	100800	106300	86,78	94,54	160200	259100	458,2	329,7
	J 1.2	117300	127200	80,8	107,8	238400	315400	265	249,2
	J 1.4	93780	106000	45	77	242200	323200	245,1	254,1

Tabel 4. Hasil running atau data model LR3P05P12

JENIS	J	Propeller Depan				Propeelr Belakang			
		P1 Face (Pa)	P1 Back (Pa)	WS1 Face (Pa)	WS1 Back (Pa)	P2 Face (Pa)	P2 Back (Pa)	WS2 Face	WS2 Back
LR3P05P12	J 01	-370900	-408500	5844	4352	1473000	1143000	2176	3117
	J 02	713300	559900	3016	2433	911100	792500	2501	3693
	J 04	207800	183400	690,9	509,8	306900	296600	1123	1425
	J 05	110200	109200	180	141,3	257000	272800	323,5	368
	J 06	98090	87080	92,71	90,51	253200	266600	264	322,2
	J 07	99950	106800	132	107	241600	256000	295	311
	J 08	125700	123300	235,9	184,3	180300	182800	488,4	619,7
	J 1.0	112800	111300	150,3	121,8	168400	169100	412,1	504,3
	J 1.2	106500	107500	81,63	65,53	228300	213700	259,5	388
	J 1.4	97840	103500	71,96	69,73	236900	249300	264,8	279,4

Tabel 5. Hasil running atau data model LR4P05P05

JENIS	J	Propeller Depan				Propeelr Belakang			
		P1 Face (Pa)	P1 Back (Pa)	WS1 Face (Pa)	WS1 Back (Pa)	P2 Face (Pa)	P2 Back (Pa)	WS2 Face	WS2 Back
LR4P05P05	J 01	1008000	6212000	2634	4015	3231000	1299000	1174	2422
	J 02	514100	1473000	1551	850,3	1222000	558800	791,9	793,6
	J 04	118000	255600	244	155	602600	241900	245,4	267,9
	J 05	124400	283800	206,8	96,27	594400	257700	215,1	210,2
	J 06	133100	260900	192,1	85,81	476200	129800	245,8	315,6
	J 07	111900	242500	171,8	93,44	525500	232300	212,4	174,9
	J 08	147100	183500	113,8	146,8	501800	195800	224,2	186
	J 1.0	83480	170100	58,89	49,37	339000	-11470	140,8	212,9
	J 1.2	96130	231400	81,86	270,9	457300	189500	208,9	122,2
	J 1.4	80410	151900	37,88	74,77	296800	89180	191,4	69,72

Tabel 6. Hasil running atau data model LR4P05P07

JENIS	J	Propeller Depan				Propeelr Belakang			
		P1 Face (Pa)	P1 Back (Pa)	WS1 Face (Pa)	WS1 Back (Pa)	P2 Face (Pa)	P2 Back (Pa)	WS2 Face	WS2 Back
LR4P05P07	J 01	1255000	754700	5877	2361	3482000	1215000	6200	3339
	J 02	342700	303300	1913	1897	1107000	521200	866,9	1047
	J 04	103900	43800	97,88	764,6	568400	195400	273,5	293,1
	J 05	93070	179800	171,5	236,3	534700	221700	215,4	252,3
	J 06	104600	171800	144,6	278,2	450700	102000	260,7	307,2
	J 07	85990	167600	129,2	190	481900	193800	212,9	187,3
	J 08	122900	95740	113,7	476,2	477300	169700	225,7	172,9
	J 1.0	143400	108200	116,6	461,2	462700	167800	224,4	151,7
	J 1.2	86760	138200	60,19	201,2	425200	154700	209,2	119,8
	J 1.4	73740	79990	10,09	120,8	290700	82360	193,6	101,2

Tabel 7. Hasil running atau data model LR4P05P09

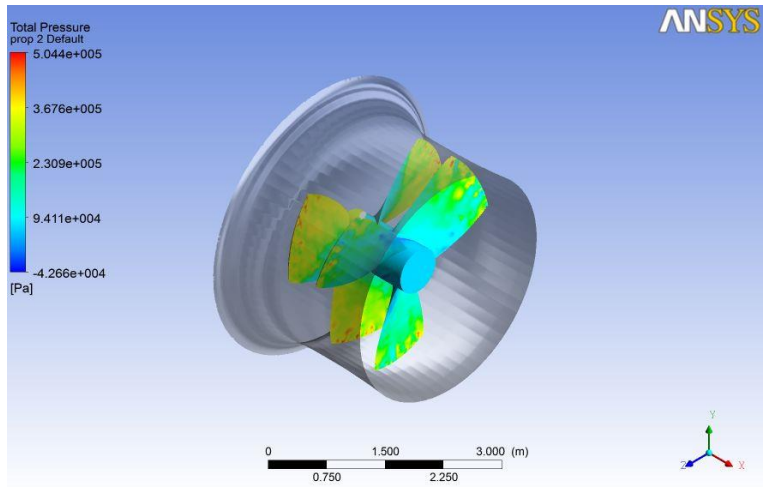
JENIS	J	Propeller Depan				Propeelr Belakang			
		P1 Face (Pa)	P1 Back (Pa)	WS1 Face (Pa)	WS1 Back (Pa)	P2 Face (Pa)	P2 Back (Pa)	WS2 Face	WS2 Back
LR4P05P09	J 01	970500	1948000	3979	4136	3387000	1233000	6480	3275
	J 02	414900	683700	1355	943,2	976000	421200	833,2	877
	J 04	133400	173800	159,1	220,8	523400	177900	293,7	303,8
	J 05	138900	159400	444	285,9	506200	189900	207,3	263,8
	J 06	169700	164100	270,4	201,6	417100	67140	269,2	306,9
	J 07	116400	148000	270,6	219	439900	145500	205,8	168,9
	J 08	131900	140700	107,1	112,5	433400	145600	215,5	176,8
	J 1.0	137000	141600	105,8	101,1	421800	145800	213,6	162,6
	J 1.2	113800	145500	105,3	159,1	397800	129700	203,7	114,9
	J 1.4	100500	126600	91,85	112,6	275300	72890	188,1	92,46

Tabel 8. Hasil running atau data model LR4P05P12

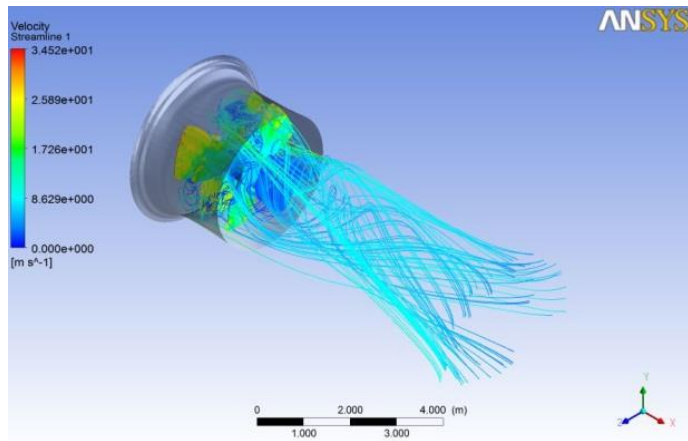
JENIS	J	Propeller Depan				Propeelr Belakang			
		P1 Face (Pa)	P1 Back (Pa)	WS1 Face (Pa)	WS1 Back (Pa)	P2 Face (Pa)	P2 Back (Pa)	WS2 Face	WS2 Back
LR4P05P12	J 01	1349000	2522000	4229	5012	2522000	553900	1576	3512
	J 02	476500	539000	1110	988	1001000	448000	845,7	1036
	J 04	165900	162300	282,3	207,6	532000	148500	281,9	264,3
	J 05	164600	144700	464	305,8	518400	170200	229	281,2
	J 06	188700	137000	327	211,7	419200	51520	298,3	302,7
	J 07	148700	162600	180,2	145,8	419300	140000	341,6	180,8
	J 08	137900	122100	154,2	116,1	436600	131900	241,7	178
	J 1.0	138200	123800	144,1	103,2	425600	135700	238,1	168,5
	J 1.2	137300	129800	182,7	142,2	402000	113600	226,9	112,4
	J 1.4	117100	107200	122,9	88,03	277000	69380	210,5	67,72

Tabel 9. Hasil perhitungan torque dan thrust CRP model LR4P05P07

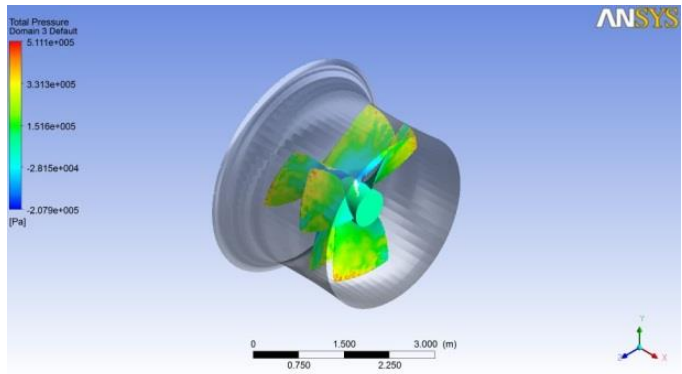
CRP LR4P05P07						
J	rps	T (kN)	Q (kNm)	η	KT	KQ
0,1	12,9	6373,135	2282,25	0,17	4,17	6,0243
0,2	6,4	4684,767	2064	0,14	3,77	5,4482
0,4	3,2	2996,399	1627,5	0,40	2,96	4,296
0,5	2,6	2452,866	1409,25	0,58	2,55	3,7199
0,6	2,1	2008,767	1191	0,73	2,15	3,1438
0,7	1,8	1633,287	972,75	0,84	1,74	2,5677
0,8	1,6	1308,031	754,5	0,87	1,33	1,9916
1	1,3	764,4981	318	0,74	0,52	0,8394
1,2	1,1	320,3992	-118,5	0,43	-0,29	-0,3128
1,4	0,9	-55,081	-555	0,26	-1,10	-1,465



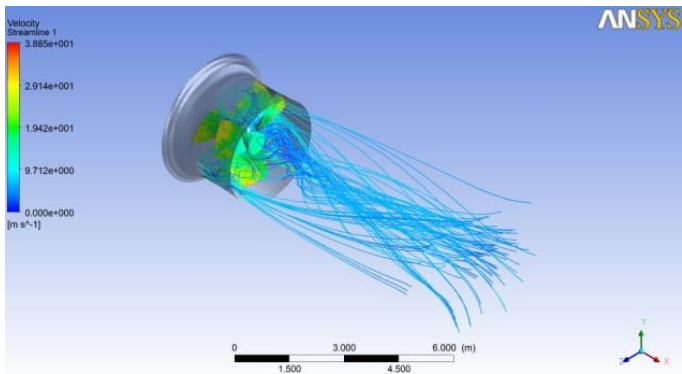
Gambar 1. Kontur Pressure Model LR3P05P05



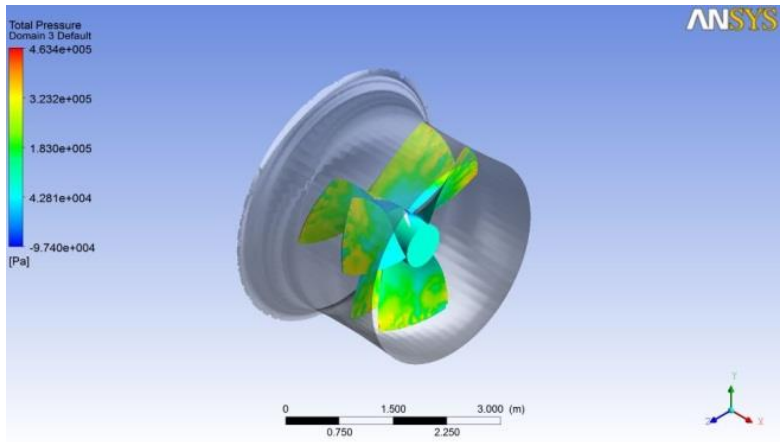
Gambar 2. Kecepatan Aliran Model LR3P05P05



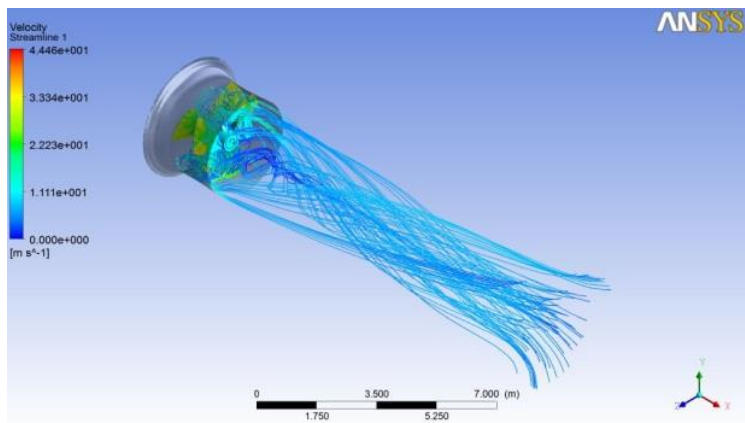
Gambar 3. Kontur Pressure Model LR3P05P07



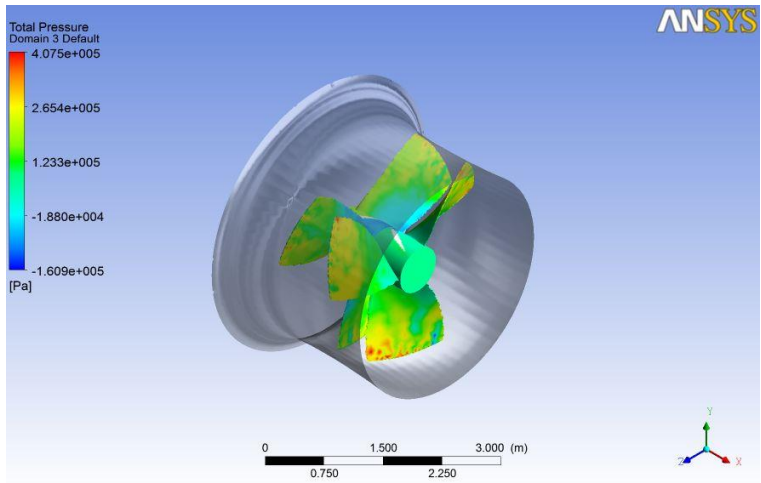
Gambar 4. Kecepatan Aliran Model LR3P05P07



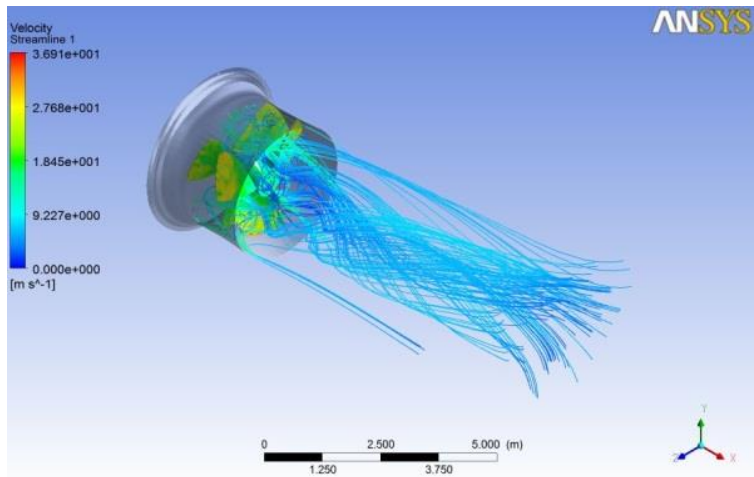
Gambar 5. Kontur Pressure Model LR3P05P09



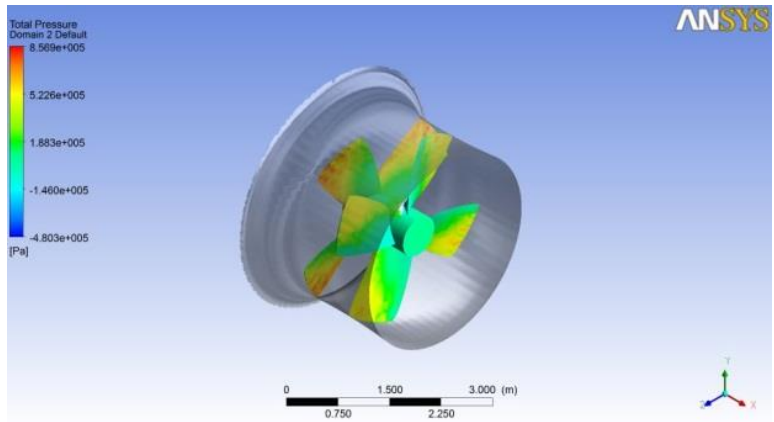
Gambar 6. Kecepatan Aliran Model LR3P05P09



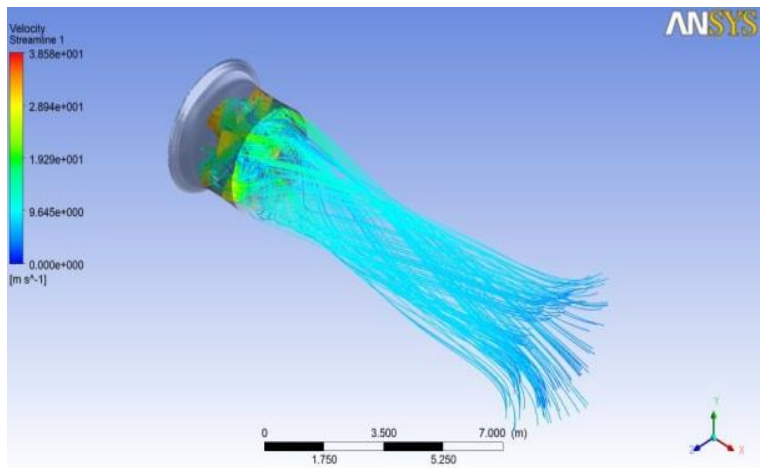
Gambar 7. Kontur Pressure Model LR3P05P12



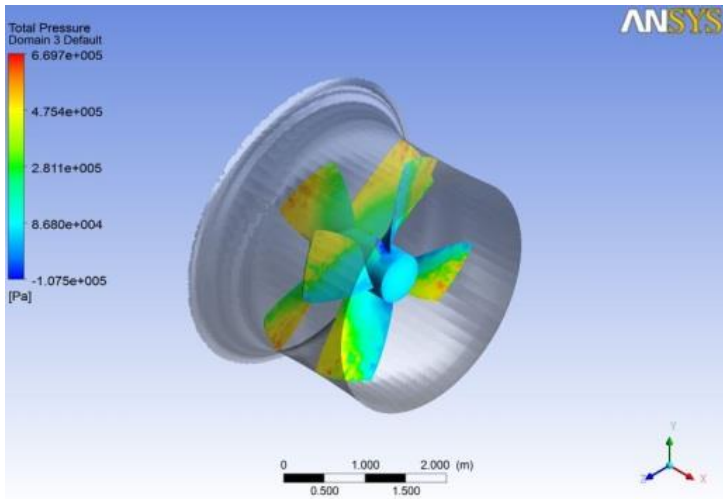
Gambar 8. Kecepatan Aliran Model LR3P05P12



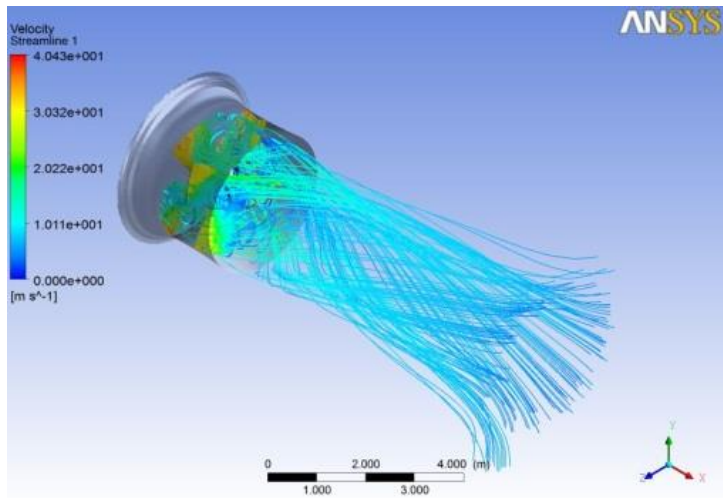
Gambar 9. Kontur Pressure Model LR4P05P05



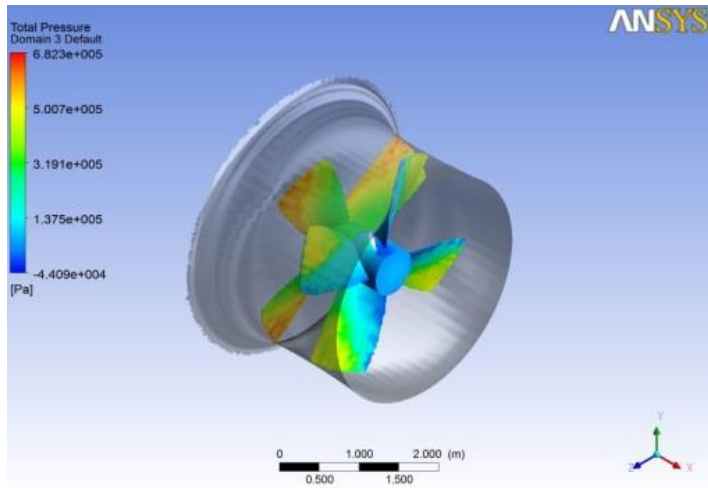
Gambar 10. Kecepatan Aliran Model LR4P05P05



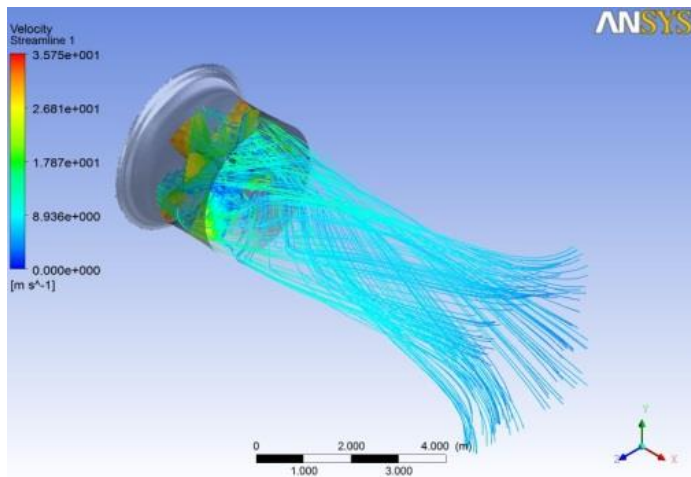
Gambar 11. Kontur Pressure Model LR4P05P07



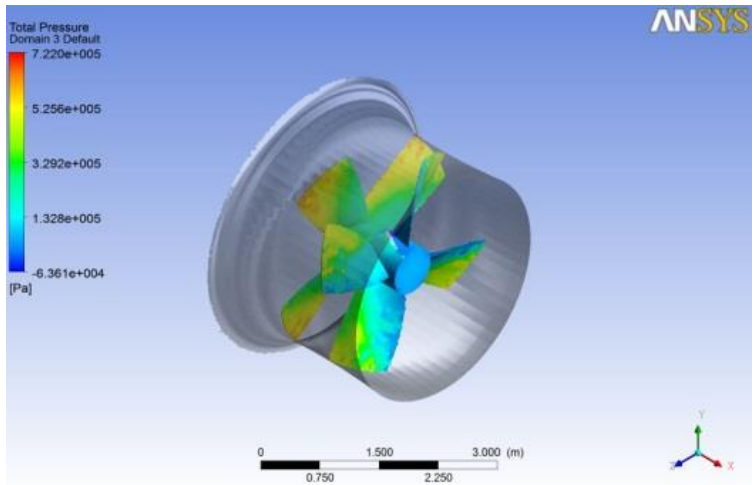
Gambar 12. Kecepatan Aliran Model LR4P05P07



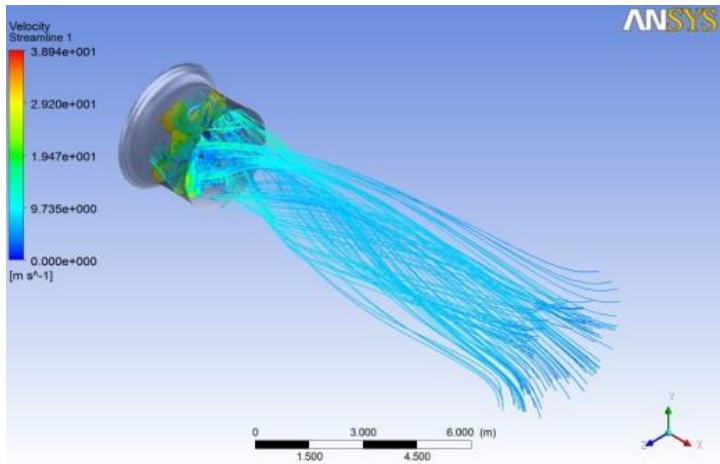
Gambar 13. Kontur Pressure Model LR4P05P09



Gambar 14. Kecepatan Aliran Model LR4P05P09



Gambar 15. Kontur Pressure Model LR4P05P12



Gambar 16. Kecepatan Aliran Model LR4P05P12

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hubungan antara efisiensi, *thrust* dan *torque* dengan *pitch* berbanding terbalik, semakin besar *pitch* yang divariasikan maka nilai ketiga tersebut semakin kecil. ini terjadi pada jenis baling-baling *contra rotating* dan *ducted contra rotating*.
2. Berdasarkan variasi *pitch propeller* jenis *contra rotating* memiliki nilai *thrust*, *torque* dan efisiensi lebih tinggi dari pada *ducted contra rotating*. Ini dikarenakan kecepatan aliran yang ada didalam *kort nozzle* lebih tinggi sehingga tekanan aliran yang melewati kedua *propeller* atau didalam *kort* mengurangi lift dan *thrust*.
3. Berdasarkan putaran *propeller* jenis *ducted contra rotating* memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan *contra rotating* sebesar 32% dibandingkan tanpa menggunakan *kort nozzle*.
4. Penambahan *kort nozzle* pada jenis *contra rotating* mengalami penurunan 24-26% dari segi torque dan thrust dengan *pitch* yang sama antara *propeller* depan dan belakang. Namun apabila *pitch* divariasikan lebih tinggi maka nilai torque dan thrust akan turun 50 – 56%.
5. Berdasarkan grafik K-T-J nilai efisiensi tertinggi dengan bervariasi *pitch* terdapat pada putaran rendah yaitu 96 – 108 rpm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Muhyi dan I. S. Arief, AN ANALYSIS OF COMBINATION BETWEEN *DUCTED PROPELLER* AND *CONTRA ROTATING PROPELLERS* SHIP BY USING CFD APPROACH, Surabaya, 2010.
- [2] I. K. A. P. U. Widiyanto, “ANALISA ALIRAN PADA *DUCTED PROPELLER* DENGAN PENDEKATAN CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS),” Jurnal Teknik Perkapalan ITS, Surabaya, 2012.
- [3] J. S. Carlton, *Marine Propellers and Propulsion*, Burlington-USA: MPG Books Ltd, 2007.
- [4] A. S. Harvald, *Tahanan dan propulsi Kapal*, Surabaya: Airlangga University Press, 1992.
- [5] T. P. O. Brien, *The Design of Marine Screw Propellers*, London: Hutchinson & CO LTD, 1969.
- [6] 1999, ITTC, “Propulsion, PropulsorOpen Water Test,” dalam *International Towing Tank Conference*, Seoul/Shanghai, 2002.
- [7] J. Anderson, *Computational Fluid Dynamics : The Basics with Applications*, Departement of Acrospace Engineering - University of Maryland, 1995.
- [8] E. Popov, *Mekanika Teknik*, Jakarta: Erlangga, 1989.
- [9] E. Kulunk, *Aerodynamics of Wind Turbines, Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*, InTech, 2011.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Batam, Kepulauan Riau, pada tanggal 8 Oktober 1994. Penulis merupakan putera ketiga dari empat bersaudara. Terlahir dengan nama Rizqi Maulana Khozin dari pasangan M. Khozin dan Mutmainah Majidah. Riwayat pendidikan formal yang telah ditempuh adalah SDN 004 Sekupang Batam, SMP Daha 1 Kediri dan MAN Kota Kediri 3. Penulis diterima di jurusan Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dengan nomor register 4212 100 021 melalui jalur SNMPTN Undangan. Penulis mengambil konsentrasi bidang keahlian Marine Manufacturing Design (MMD). Selama masa perkuliahan, penulis ikut dalam Himpunan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS Periode 13/14 dan Pengurus Laboratorium MMD periode 15/16. Selama menuntut ilmu di kampus perjuangan, penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Antakesuma Inti Raharja dan PT. Biro Klasifikasi Indonesia Cabang Surabaya.

Rizqi Maulana Khozin

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – FTK – ITS

Rizqimaulanakhazin@gmail.com